

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ГЕОСФЕР КРУПНЫХ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ РЕГИОНОВ





РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Ф. СКОРИНЫ

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ГЕОСФЕР КРУПНЫХ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ РЕГИОНОВ

Сборник научных статей

Под редакцией
доктора геолого-минералогических наук,
профессора *И. И. Косиновой*



Москва

Издательство «Научная книга»

2022

УДК 622:502.7

ББК 33.126

3-19

Р е ц е н з е н т ы:

доктор геолого-минералогических наук, профессор,
член-корреспондент НАН Беларуси *М. А. Багдасаров*;

доктор геолого-минералогических наук, Уральский государственный
горный университет (Екатеринбург) *О. М. Гуман*

Закономерности трансформации экологических функций геосфер крупных горнопромышленных регионов : сборник научных статей / под ред. И. И. Косиновой. – Москва : Издательство «Научная книга», 2022. – 172 с. – ISBN 978-5-6047885-3-0. – Текст : непосредственный.

Сборник научных статей представляет собой обобщение результатов исследований проведенных по грантам РФФИ № 20-55-00010/20 и БРФФИ № Х20Р-284 «Закономерности трансформации экологических функций геосфер крупных горнопромышленных регионов». Исследования осуществлялись на территориях центральной части России и Республики Беларусь. Основным предметом исследований являлись закономерности преобразования эколого-геохимической и эколого-геофизической функций литосферы в районах размещения горнодобывающих и горноперерабатывающих предприятий.

Представлены данные по основным тенденциям преобразования рельефа, ресурсов и химического состава поверхностных и подземных вод, акустических и вибрационных полей природного и техногенного происхождения. Обозначены радиусы зон влияния крупных горнодобывающих предприятий, максимальные размеры которых выявлены по трансформации геофизических показателей экологических функций литосферы.

Материалы сборника представляют интерес для специалистов, осуществляющих деятельность в области прогноза и экологического сопровождения деятельности горнодобывающих и горноперерабатывающих предприятий.

Сборник научных статей по результатам исследований по теме «Закономерности трансформации экологических функций геосфер крупных горнопромышленных регионов». издан при поддержке одноименных грантов РФФИ № 20-55-00010/20 и БРФФИ № Х20Р-284.

УДК 622:502.7

ББК 33.126

© Российский фонд фундаментальных исследований, 2022

© Воронежский государственный университет, 2022

© Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины

© Оформление. Издательство «Научная книга», 2022

ISBN 978-5-6047885-3-0



Содержание

Косинова И.И. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ЛИТОСФЕРЫ В ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ РАЙОНАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ РОССИИ	6
Бударина В.А., Косинова И.И. ЭКОЛОГО-ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ЕЛАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СУЛЬФИДНЫХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД	16
Бударина В.А., Косинова И.И., Леонова А.С. ВЛИЯНИЕ ПАВЛОВСКОГО ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА НА ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ТЕРРИТОРИИ	21
Гусев А.П., Андрушко С.В., Моляренко В.Л. ИНДИКАЦИОННАЯ ДИАГНОСТИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕ- СКОЙ СРЕДЫ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛИГОНА ХИМИЧЕСКИХ ОТХОДОВ	26
Гусев А.П., Моляренко В.Л. ДИСТАНЦИОННАЯ ДИАГНОСТИКА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЧУЖЕРОД- НЫХ ВИДОВ-ТРАНСФОРМЕРОВ	34
Ежова И.Т., Надёжка Л.И., Ефременко М.А. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ СРЕДУ	42
Косинова И.И., Белозеров Д.А., Коснырева С.С. ЭКОЛОГО-ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД СТОЙЛЕНСКОГО ГОКА И ЗОНЫ ЕГО ВЛИЯНИЯ	54

Куролап С.А. , Степкин Ю.И. , Прожорина Т.И., Клепиков О.В.	59
МЕДИКО-ДЕМОГРАФИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ТЕХНОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭКОСИСТЕМ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ В РАЙОНАХ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА	
Меженная О.Б., Андрушко С.В.	79
ВОЗДЕЙСТВИЕ ЛИТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ЛИТОСФЕРЫ НА ПРИМЕРЕ ГОМЕЛЬСКОГО ХИМИЧЕСКОГО ЗАВОДА	
Павловский А.И. , Галкин А.Н. , Андрушко С.В. , Моляренко В.Л.	86
ГЕОГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В РАЙОНАХ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	
Сафронич И.Н., Ефременко М.А.	94
ФОНОВОЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ ПОЛЕ – «ПРИРОДНАЯ» СОСТАВЛЯЮ- ЩАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ ЛИТОСФЕРЫ И ЕГО СВОЙСТВА НА ТЕРРИТОРИИ ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА	
Сафронич И.Н.	105
МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РАСЧЕТУ ЧИСЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ АНТРОПОГЕННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ПУНКТЕ НАБЛЮДЕНИЯ	
Семенов А.Е.	118
ХАРАКТЕР СЕЙСМИЧНОСТИ ТЕХНОГЕННО-НАГРУЖЕННОЙ ЛИСКИНСКОЙ СЕЙСМИЧЕСКИ АКТИВНОЙ ЗОНЫ ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА	
Ткаченко Н.Н., Косинова И.И.	125
ЭКОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛИПЕЦКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА	
Томаш М.А, Шершнев О.В.	132
ОСОБЕННОСТИ ВОДНО-РЕКРЕАЦИОННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛИМНОСИСТЕМ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ Г. ГОМЕЛЬ)	

Шершнёв О.В., Павловский А.И., Акулевич А.Ф. 144
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОЕНИЯ ЗОНЫ АЭРАЦИИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ
ГОМЕЛЬСКОГО ХИМИЧЕСКОГО ЗАВОДА

Шершнёв О.В., Павловский А.И. 152
ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ РАЗРАБОТОК МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ
ЛИТОСФЕРЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Шишкова И.И., Павловский А.И. 160
ТЕХНОГЕННАЯ НАГРУЗКА В РАЙОНЕ РАЗРАБОТКИ
СТАРОБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ



ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ЛИТОСФЕРЫ В ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ РАЙОНАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Косинова И.И.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Россия

Аннотация. Настоящая статья представляет основные закономерности преобразования экологических функций литосферы в горнодобывающих районах центральной части России. Методика исследований включает полевые эколого-геохимические исследования, результаты которых систематизированы в методике комплексной оценки комфортности среды обитания горнодобывающих районов. Отмечаются природные условия высокого качества, характерные для Центральной части России. Высокий уровень техногенного воздействия дифференцируется по ряду направлений. Горнодобывающая деятельность представляет собой наиболее мощный фактор преобразования экологических функций литосферы.

Ключевые слова: закономерности, экология, функции, литосфера, преобразование, горная деятельность, район, центральная часть.

Центральная часть Российской Федерации включает 5 административных областей: Белгородскую, Воронежскую, Липецкую, Курскую, Тамбовскую. Они отличаются по размерам, плотности населения, техногенной инфраструктуре. Однако общим фактором для них является расположение данных областей в наиболее благоприятных природных условиях. Климат территории максимально благоприятный, отличается наличием ярко выраженных четырех времен года.

Климатические условия заметно изменяются в направлении с северо-запада на юго-восток. Это изменение идет в сторону увеличения континентальности, что связано со значительной удаленностью юго-восточной части территории от Атлантического океана. Наиболее холодный месяц – январь со средней температурой на северо-востоке области минус 10,5°C, на юге – минус 8,5°C. Самый теплый – июль, со средней температурой +19,5°C и +22°C соответственно. Годовой ход температуры характеризуется однородностью. Среднегодовая температура воздуха изменяется от +5°C на северо-востоке до +6,5°C и немного выше на юге. Устойчивый переход среднесуточной температуры через 0 градусов весной происходит 1 апреля на севере и 25 марта на юге области, осенью соответственно 16 октября и 23 октября. Продолжительность безморозного периода колеблется от 142 до 168 дней. Последний заморозок весной наблюдается в первых числах мая, но иногда бывают и в июне. Осенью первый заморозок наблю-

дается в начале октября. Устойчивое прогревание воздуха выше 5°C и 10°C на севере области 15 апреля – 1 мая и на юге – 7-24 апреля.

Продолжительность периода со среднесуточной температурой воздуха выше 10°C от 153 до 163 дней, возрастая при движении с севера на юг области. Наиболее теплая часть лета, когда среднесуточная температура воздуха выше 15°C колеблется от 107 дней на севере области и до 122 дней на юге.

Среднегодовая сумма количества атмосферных осадков составляет 528-570 мм, однако, распределение их по месяцам крайне неравномерно. За теплый период года (апрель – ноябрь) обычно выпадает до 75% годового количества осадков с максимумом в июле. Летние осадки часто носят ливневый характер (до 4-5 мм в минуту). Летом характерно устойчивое проявление засушливой погоды. Интенсивность осадков зимой невелика, преобладают слабые обложные снегопады. Большая часть осадков (около 70-80 %) испаряется. В мае – июне испарение обычно не компенсируется осадками. На поверхностный сток и инфильтрацию приходится от 60 до 120 мм.

Особенности годового хода температуры воздуха в градусах Цельсия и осадков в миллиметрах представлены на рисунке 1.

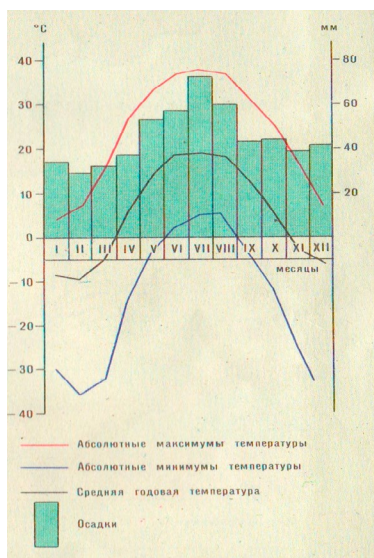


Рисунок 1 – Годовой ход температуры воздуха (в $^{\circ}\text{C}$) и осадков (в мм) по данным метеорологической станции Воронеж СХИ [1]

Центральные районы России относятся к зоне неустойчивого увлажнения. Величина испарения с суши в среднем не превышает 400 мм, с водной поверхности в летний период – 160-180 мм, в зимний – 1-5 мм. Толщина снежного покрова непостоянна, она максимальна в последней декаде февраля – первой половине марта (до 1 м), составляя в среднем 20-35 см. Запас влаги в снежном покрове от 25 мм до 150 мм. Ледостав начинается в ноябре – декабре. Толщина льда 16-50 см, наибольшая – в конце зимы. Вскрытие рек в конце марта – первой половине апреля. Продолжительность ледостава составляет 135 дней при колебаниях от 120 до 150 дней. Весенний ледоход продолжается 1-3 дня на малых реках, до 6-10 дней на больших, а в отдельные сезоны его не бывает. Продолжительность затопления пойм в среднем составляет 5-8 дней, а на р. Дон увеличивается до 15-20 дней. Весеннее половодье заканчивается в третьей декаде апреля, а на реках Дон и Воронеж – в конце мая. В течение лета отмечаются незначительные дождевые паводки.

Важнейшим природным богатством региона являются почвы. Именно образец Курского чернозема является эталоном почв планеты Земля, он размещён в палате мер и весов в Лондоне. Оставаясь основным и незаменимым средством сельскохозяйственного производства, почва в тоже время выступает и как один из основных компонентов биогеоценоза, а, следовательно, и биосферы в целом.

Считается, что современный почвенный покров в Центрально-черноземном регионе сформировался приблизительно за 8000 лет. Основным типом почв являются черноземы, зональные для данной территории. Приурочены они к междуречьям и занимают около 80 % территории, среди них выделяют: оподзоленные, выщелоченные, типичные, обыкновенные и южные черноземы.

Усредненный профиль состоит из следующих горизонтов:

А - гумусово-аккумулятивный;

AB - переходный;

В - выщелоченный карбонатный;

Вск - иллювиально-карбонатный;

Ск - почвообразующая порода.

По мощности на территории региона преимущественно распространены профили в 63-75 см, более редко встречаются профили с мощностью 85-95 см. Содержание гумуса изменяется от 4,5-5,9 % у малогумусных до 6,1-7,2 % у среднегумусных. Запас гумуса в метровой толще составляет 400-530 т/га. Реакция слабокислая или близкая к нейтральной. Объемная масса в пахотном горизонте 0,89-1,35 г/см³, в подпахотном слое -1,12-1,35 г/см³, с глубиной увеличивается до 1,40-1,70 г/см³. Структура почвенных отложений мелкозернистая и пылеватая. В пределах Окско-Донской низменности наиболее широко распространены типичные черноземы и луго-

во-черноземные типы, на Среденерусской возвышенности – типичные черноземы. Различают слабо-, средне- и сильновыщелоченные их разновидности. Выщелоченные черноземы предположительно образовались за последние 300-400 лет из серых лесных почв. Это произошло после вырубки массивов широколиственных лесов в процессе заселения Окско-Донской равнины.

На Окско-Донской низменности в условиях плохой дренированности черноземы встречаются в комплексе с лугово-черноземными почвами. Их профиль состоит из гумусово-аккумулятивного горизонта А (37-50 см), переходного гумусового горизонта АВ (25-43 см), горизонтов В (24-30 см), ВС (15-25 см), Ск. Мощность их больше, чем у черноземов типичных - до 100-120 см. Лугово-черноземные почвы обычно залегают пятнами среди черноземов. Гранулометрический состав в основном тяжелосуглинистый и легкоглинистый. Мощные тучные лугово-черноземные почвы содержат 8,40-10,20 % гумуса в пахотном горизонте и 6,65-8,07 % в подпахотном, среднегумусные мощные - 7,47 и 6,28 %, среднемощные - 7,17 и 6,23 % соответственно. Содержание гумуса в метровой толще у тучных мощных разновидностей - 708-794 т/га, у тучных среднемощных - 609-687 т/га, у среднегумусных мощных - 591-712 т/га, у среднегумусных среднемощных - 514-654 т/га. Главное отличие таких почв от черноземов - высокий уровень стояния грунтовых вод - 3-5 м. В сухие годы урожай на них выше, чем на черноземах.

При более высоком уровне стояния грунтовых вод (1,5-3 м), формируются черноземно-луговые почвы. Средняя мощность их гумусового горизонта 55-65 см. С глубины 1 м отмечается оглеение профиля. Содержание гумуса в основном 7-8 %. Его запас в метровой толще - до 540-580 т/га. Гранулометрический состав тяжелосуглинистый и легкоглинистый. Также выделяются черноземно-влажно-луговые почвы с уровнем стояния грунтовых вод под ними менее 1,5 м.

Серые лесные (лесостепные) почвы распространены под крупными лесными массивами (Шипов лес, Усманский бор). Глинистые и суглинистые их разновидности характеризуются профилем до 50-60 см, ореховатой структурой и белесой присыпкой из кварца, кремнезема и полевых шпатов в нижней части. Гумуса в них меньше чем в черноземах, а запасы его в метровом слое - 300-360 т/га. Другое название этих почв - лесные черноземы, серые лесостепные.

На исследуемой территории встречаются также азональные типы почв: солонцы (формируются обычно на засоленных почвообразующих породах), солоды (формируются в условиях застоя атмосферных осадков), аллювиально-пойменные, лугово-болотные, аллювиально-делювиальные почвы балочного комплекса и др. Помимо широтной дифференциации почвенного покрова можно выделить и внутрибассейновые различия. На

плакорах получили распространение черноземы различных видов: лугово-черноземные, луговые и лугово-болотные почвы (недренированный тип междуречий); сочетания выщелоченных черноземов и серых лесостепных почв (зандровый тип местности); смыты разновидности черноземов (склоны); смыто-намытыми сочетаниями различных почв (долинно-балочная сеть); аллювиально-дерновые, аллювиальные луговые, лугово-болотные, аллювиально-болотные и пойменно-лесные почвы (поймы).

Общая благоприятность природных условий определила плотность заселения Центральной части России, в пределах которой проживает 7 120 702 человека (по данным на 2020 год). Данная цифра составляет примерно 5% от населения всей России. Средняя цифра плотности населения составляет 43 человека на квадратный километр.

Важным элементом ресурсной составляющей является наличие минеральных ресурсов [2]. Нами проведена систематика горнодобывающих районов ЦЧР, в основу которой положены принципы оценки влияния их разработки на экологические функции литосферы. Следует подчеркнуть, что любой вид техногенной деятельности человека влияет на комфортность среды обитания. Однако именно горнодобывающая деятельность трансформирует ее в максимальной степени (Рис.2).

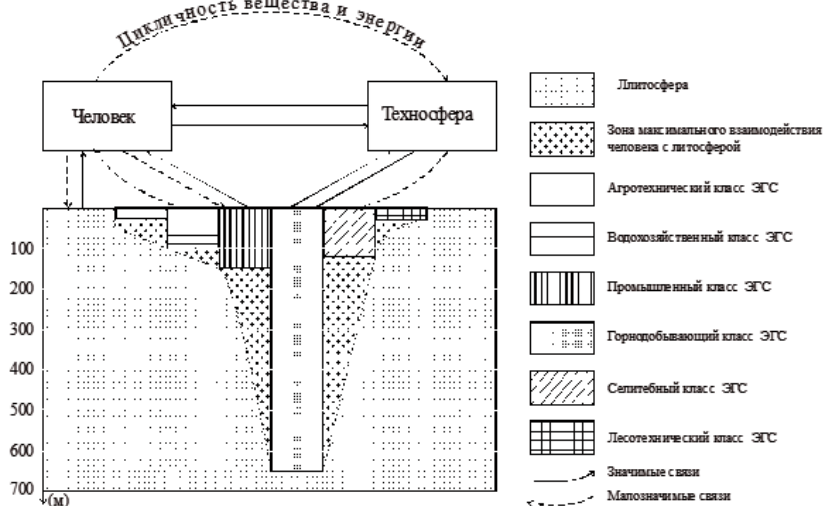


Рисунок 2 – Характеристика пространственного преобразования эколого-геологических систем в пределах ЦЧР

Это связано как с пространственными характеристиками преобразования, так и количественными показателями компонентов окружающей среды. Горнодобывающий класс природно-технических экогеосистем Центрального Черноземья характеризуется максимально проявленными негативными эколого-геологическими условиями. Характерным системообразующим фактором является глубинное (до 3-5 км) механическое, химическое и физическое преобразование литосферы. При добыче полезных ископаемых происходит перемещение объемов вещества из глубины на поверхность, сопоставимое с крупнейшими геологическими процессами. Важным системообразующим фактором является перераспределение глубинного минерального вещества между лито -, гидро - и атмосферами. При открытой добыче полезных ископаемых глубинные породы в виде буровзрывной пыли покрывают пространства в радиусе до 50 км и более. Вскрышные породы складываются на поверхности, формируя качественно новый техногенный рельеф. Последний образует новые площади водосбора, значительно отличающиеся от первоначальных.

Системообразующим фактором ЭГС также являются измененные гидродинамические условия, сопровождающиеся образованием крупных депрессионных воронок. В результате происходит отмирание малых рек, загрязнение и обмеление более крупных. Отличительным признаком данных ЭГС является образование техногенных поверхностных водотоков, формирующихся из дренажных вод карьеров и осветленных вод хвостохранилищ. Системообразующим фактором ЭГС горнодобывающего класса есть отчуждение крупных территорий почв как под карьеры, так и под отвалы. Производится снятие плодородного слоя и его селективное складирование. Однако почвы в отвалах быстро выветриваются и теряют свои уникальные свойства. Нередко производится бессистемное отвалообразование почв совместно с вскрышными породами, что приводит к полной потере данного природного ресурса.

Таким образом, экогеосистемы горнодобывающего класса являются примером коренной переработки естественных природных условий. Трансформированная литосфера определяет угнетение жизнедеятельности экосистем всех уровней.

Нами представлена классификация оценки степени комфортности среды жизнедеятельности, учитывающая преобразование экологических функций литосферы в горнодобывающих районах (Табл.1).

Таблица 1 – Оценка степени комфортности среды жизнедеятельности

Оценка степени комфортности среды жизнедеятельности										
Оценка состояния ЭГС	Оценка степени комфортности жизнедеятельности	Почвы		Донные отложения		Подземная гидросфера			Поверхностные воды	
		Токсические элементы (СПК)	Органические соединения (ПДК)	Токсические элементы (СПК)	Органические соединения (ПДК)	Гидродинамич. обстановка (% изменения уровня)	Гидрохимическая характеристика			Токсические химические элементы, макроэлементы, органические элементы (ПДК)
							Загрязняющие элементы			
							1 кл. опасности	2 кл. опасности	3-4 кл. опасности	
							1 кл. опасности	2 кл. опасности	3-4 кл. опасности	
Допустимые	Комфортная	<8	<1	<8	<1	<20	<1	<1	<1	<1
Умеренно опасное	Экологическ. риск.	8-16	1-2	8-16	1-2	20-60	1-1.5	1-2	1-5	1-2.5
Опасное		16-32	2-5	16-32	2-5	60-100	15-2	2-5	5-10	2.5-5
Высоко опасное	Эколог. кризис.	32-128	5-10	32-128	5-10	>100	2-3	5-10	10-15	5-10
Чрезвычайно опасное	Экол. бедствие	>128	>10	>128	>10	>100	>3	>10	>15	>10

Особенностью данной классификации является интегрирование оценки состояния абиотической и биотической компонент окружающей среды [3]. Выделены оценки состояния экогеосистем по количественным критериям оценок почв, донных отложений, поверхностных и подземных вод, снеговых выпадений. Комплекс загрязняющих веществ дифференцирован по классам опасности, что позволяет детализировать экологическую ситуацию. Большое внимание уделено подземной гидросфере, экологические функции которой преобразуются в пределах горнодобывающих районов в значительной степени. Ведущим является гидродинамический показатель, связанный с работой приповерхностных водоносных горизонтов в районах размещения карьеров.

В процессе открытой разработки месторождений КМА формируется депрессионная воронка, радиус которой достигает сотни километров. Сработка водоносных горизонтов и комплексов происходит в процессе деятельности дренажных систем, препятствующих сбросу воды в карьеры. При этом воды различных горизонтов смешиваются по составу, изменяется их кислотно-щелочной показатель, происходит изменение типа воды. В дальнейшем данные воды сбрасываются в поверхностные водотоки, эколого-гидрохимический состав которых также преобразуется в значительной степени. Наличие в сбрасываемых водах повышенного содержания элементов ведущих классов опасности формирует значимые преобразования экологических функций литосферы.

Индикатором данного процесса являются донные отложения поверхностных водоемов, которые в предлагаемой классификации оцениваются

по наличию токсических элементов и органических соединений. Критерий состояния донных отложений является весьма важным при оценке преобразования экологических функций литосферы горнодобывающих районов. Следует дифференцировать при этом состав донных отложений природных и техногенных водных объектов. Природные объекты в части донных отложений реагируют на привнос вещества в процессе плоскостной эрозии и поверхностного смыва с прилегающих территорий, атмосферному поступлению. К искусственно созданным водным объектам, приуроченным к горнодобывающим и горноперерабатывающим комплексам, относятся хвостохранилища. В донной части они аккумулируют значительно количество тяжелых металлов, добываемых и перерабатываемых в пределах данного района. Так, в хвостохранилищах Курской магнитной аномалии, в водоносные горизонты инфильтруются марганец, титан, ванадий, медь, никель, хром. Для разработки медно-никелевых месторождений для донных отложений хвостохранилищ характерны такие металлы, как медь, никель, ртуть, хром, свинец, а также мышьяк, сульфиды. В этой связи хвостохранилища горнодобывающих и горноперерабатывающих предприятий являются значимыми элементами преобразования природных экологических функций литосферы центральной части России.

Оценка состояния биотической компоненты дается по уровню загрязнения растительности элементами 1 и 2 классов опасности. Данная оценка лежит в основе анализа взаимосвязи абиотической оценки (по уровню опасности загрязнения) и биотической (по уровням экологической безопасности).

В процессе проведенных исследований выявлены следующие закономерности преобразования экологических функций литосферы в пределах горнодобывающих и горноперерабатывающих предприятий центральной части России:

1. Природные экологические функции литосферы в пределах центральной части России сформировались в условиях магматической и метаморфической деятельности, в результате которой в пределах региона имеют место месторождения рудных: железные, сульфидные медно-никелевые руды и нерудных полезных ископаемых: пески, глины, суглинки, известняк, мергель, мел торф и др.

2. Эколого-геологические условия территории характеризуются высоким уровнем комфортности среды обитания. Это обусловлено благоприятным климатом, наличием богатых почв, изобилием поверхностных и подземных вод, спокойным рельефом, отсутствием сейсмичности [4], умеренным развитием экзогенных и инженерно-геологических процессов и явлений, разнообразием животного и растительного мира.

3. Благоприятность эколого-геологических условий определила высокий уровень заселения и освоения территории. Наряду с аграрной, се-

литебной, лесотехнической деятельностью, активное развитие имеют промышленное, горнодобывающее и водохозяйственное освоение территории, что является причиной преобразования экологических функций литосферы.

4. Среди основных закономерностей преобразования экологических функций в пределах горнодобывающих районов ЦЧР необходимо отметить следующие:

А) Последовательное и глубокое преобразование всех компонентов эколого-геологических систем. Радиусы преобразования зависят от типа горнодобывающего района. Для рудных месторождений радиус пространственного воздействия составляет около 100 километров, для нерудных варьирует от 1 до 5 км. Глубина преобразования изменяется в первом случае от 3-5 км до нескольких десятков метров в горнодобывающих районах нерудного сырья.

Б) Выявлена дифференциация процесса преобразования ЭФЛ центральной части России относительно отдельных типов горнодобывающих предприятий. Для месторождений рудных полезных ископаемых наибольшие уровни преобразования проявлены для всех видов экологических функций литосферы: ресурсной, геохимической, геодинамической и геофизической. Последняя максимально трансформируется в пределах Курской магнитной аномалии, где при вскрытии железорудных месторождений уровни магнитного поля превышают фоновые значения в тысячи раз. Формируется новая экологическая геофизическая функция литосферы, определяющая соответствующие изменения в экосистемах, здоровье человека. Месторождения сульфидных медно-никелевых руд преобразуют в значительной мере эколого-геохимическую функцию литосферы.

В) Преобразования экологических функций литосферы в пределах нерудных месторождений полезных ископаемых в значительной степени ниже, чем в рудных горнодобывающих районах. Здесь в основном происходит сработка ресурсной ЭФЛ на фоне относительно незначительных преобразований эколого-геохимической функции литосферы. Значительную экологическую опасность представляет собой практически полное отсутствие рекультивации отработанных карьеров, которые заполняются несанкционированными свалками и полигонами твердых коммунальных отходов.

Г) В процессе исследований выявлена приоритетность перерабатывающей отрасли относительно горнодобывающей в направлении преобразования экологических функций литосферы. Данная закономерность характерна для обоих типов горнодобывающих районов-рудного и нерудного. В основном это проявляется в трансформации эколого-геохимической ситуации, что реализуется в образовании эколого-геохимических, эколого-гидрогеохимических и эколого-гидрохимических аномалий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас Воронежской области, под ред. Н.Н. Ермоленко, 1993 г.
2. Бартенев В.К., Савко А.Д. Литология, фации и полезные ископаемые палеогена ЦЧЭР // Труды научно-исследовательского института геологии Воронежского государственного университета, - вып. 7. - Воронеж: изд-во Воронеж. ун-та, 2001. – 146 с.
3. Косинова И.И. Критерии оценок при эколого-геологическом районировании территорий / И.И. Косинова, К.Г. Фонова, С.И. Фонова // Юг России: экология, развитие. – 2021. – № 4. – С. 108-114.
4. Косинова И.И., Надёжка Л.И., Лисецкий Ф.Н., Бударина В.А., Семёнов А.Е., Павловский А.И. Анализ пространственных закономерностей воздействий промышленных взрывов на эколого-геологические системы горнодобывающих районов. Региональные геосистемы. 2021. Т. 45. № 3. С. 393-413.

PATTERNS OF TRANSFORMATION OF THE ECOLOGICAL FUNCTIONS OF THE LITHOSPHERE IN THE MINING REGIONS OF THE CENTRAL PART OF RUSSIA

Kosinova I.I.

VSU, Russia

Annotation. This article presents the main patterns of transformation of the ecological functions of the lithosphere in the mining areas of the central part of Russia. The research methodology includes field ecological and geochemical studies, the results of which are systematized in the methodology of integrated assessment of the comfort of the habitat of mining areas. Natural conditions of high quality, characteristic of the Central part of Russia, are noted. The high level of technogenic impact is differentiated in a number of areas. Mining is the most powerful factor in transforming the ecological functions of the lithosphere.

Keywords: regularities, ecology, functions, lithosphere, transformation, mountain activity, district, central part.

ЭКОЛОГО-ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ЕЛАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СУЛЬФИДНЫХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД

Бударина В.А., Косинова И.И.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Россия

Аннотация. Месторождения сульфидных медно-никелевых руд в Центральной части России связаны с процессами ранней и современной геотектонической деятельности. Их разработка связана со значительными экологическими рисками, которые проявляются, как в эколого-геохимической, так и в эколого-геодинамической составляющей. Состав токсических элементов, сопровождающий полезное ископаемое, зависит от активности эколого-геодинамических процессов. В статье дана характеристика данных процессов, определяющих экологические тренды возможной разработки месторождения.

Ключевые слова: экология, геодинамика, характеристика, месторождение, сульфиды, медь, никель, дайки, мегаблок, риски.

Центральная часть России богата не только нерудными, но и рудными полезными ископаемыми. Однако их разработка во многом контролируется экологическими ограничениями, связанными с наличием в горных породах высокотоксичных соединений. Одним из таких районов является Хопёрский мегаблок. Его размеры составляют 375 x 475 км. В пределах данного мегаблока разведано Еланское и Елkinsкое месторождения сульфидных медно-никелевых руд. Обозначенный район расположен в пределах Воронежского кристаллического массива (ВКМ) (Рис.). Обозначенные платиноидно-медно-никелевые месторождения еланского и мамонского типов приурочены к двум структурно-вещественным комплексам. Первый расположен в пределах Камышенского и Варваринского макроблоков архейского возраста. Для данного комплекса характерны условия однородного метаморфизма, высокомагнитные образования встречаются ограничено. Второй комплекс приурочен к элементу Воронцовского эпикратонного прогиба в пределах Калач-Эртильского макроблока. Он сложен сложно метаморфизованными горными породами нижнекарельского возраста.

Серия разновозрастных и разноранговых линейных рифтогенных поясов и эпикратонных впадин формирует элементы тектономагматической активизации. Для данных участков характерны разнотипные осадочные, вулканогенные, магматические и рудные формации. Их сочетание демонстрирует последовательную смену геодинамических об-

становок, которые привели к образованию сравнительно мощной (43-45 км) слоисто-блоковой коры континентального типа [1].

Ультрамафит-мафитовая вулканоплутоническая ассоциация определяет особенность геодинамических и эндогенных режимов формирования СВК раннего архея.

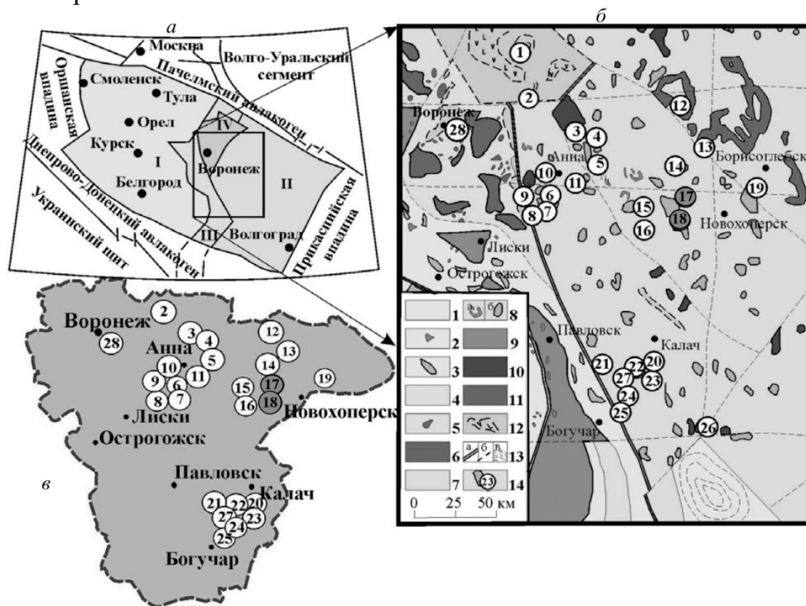


Рисунок 1 – Схема структурно-формационного районирования Воронежского кристаллического массива ВКМ

Ее особенностью является наличие специфических по петролого-геохимическому облику высокожелезистых пикрит-коматит-базальтовых вулканитов. Они относятся к брянскому и покровскому типам, к которым приурочены железорудные и сульфидные платиноидно-медно-никелевые проявления. Формирование данных рудопоявлений происходило в условиях специфичного плитного тектоногенеза, отнесенного к раннеархейскому возрасту. Единый геодинамический континуум раннего архея обусловил пространственно-временную сопряжённость вулканотрузивных магматитов и гранитно-гнейсовых образований. Протяженные пояса позднеархейских зеленокаменных поясов в пределах Хопёрского мегаблока являются результатом процессов деструкции мегаблоков раннеархейской консолидации, которые сопровождались развитием рифтогенеза на относительно маломощной коре. Данные процессы деструкции фиксируются на рубеже 3230 ± 30 – 3264 ± 54 млн. лет.

Лосевская шовная зона представляет собой основной активный тектонический элемент района. Она сформировалась на рубеже верхнего архея – нижнего карелия. Этап межконтинентального рифтогенеза сменился субдукционным процессом, в результате чего произошло образование сложнодифференцированной палеорифтовой системы, которая разделила различные по строению мегаблоки: КМА и Хопёрский. Смена геодинамических обстановок обусловила сложность данной структуры. В ее основании находится нижняя контрастная метобазальт-плагиориолитовая формация. Она отличается наличием различных по составу осадочных и вулканогенно-осадочных образований, представляющих лосевскую серию.

Мафитовые интрузии рождественского комплекса и дайки разнообразного состава и формационной принадлежности предположительно связаны с миграцией восходящих мантийных потоков в сторону Хопёрского мегаблока. Дифференцированные ультрамафит-мафитовые интрузии мамонского комплекса связаны с заглублением очагов магмагенерации ($2100-2080 \pm 10$ млн. лет). В результате механизма рассеянного спрединга они внедрились по рассредоточенным зонам растяжений [2].

Ранний протерозой (нижний карелий) в пределах Хоперского мегаблока отличается заложением и развитием чрезвычайно важной в металлогеническом отношении Воронцовской структурно-формационной зоны. Ее длина составляет примерно 1000 км, ширина изменяется с юга на север от 80 до 320 км. Это сложный эпикратонный прогиб, внутреннее строение которого характеризуется широким развитием разнотипных СВК, к которым приурочены никеленосные ультрамафит-мафитовые и мафитовые интрузии. Их образование связано как с Воронцовской структурно-формационной зоной, так и с последующей тектоно-магматической активизацией. Последняя сопровождалась заложением и развитием ряда геодинамических структур, среди которых наложенные грабенсинклиналии (Воронежско-Шукавская), крупные рифтогенные структуры. Они могут быть обозначены как самостоятельные структурно-формационные зоны.

Ольховско-Шукавская (Воронежско-Шукавская) грабенсинклиналь также выделяется как самостоятельная структурно-формационная и металлогеническая зона. Ее протяженности составляет около 200 км, ширина варьирует от 50 до 120 км. Возникновение данной зоны связано с тектоно-магматической активизацией тафрогенного этапа развития ВКМ раннепротерозойского возраста. Пространственно Ольховско-Шукавская (Воронежско-Шукавская) грабенсинклиналь располагается в северной части зоны сочленения Лосевской шовной зоны и Хоперского мегаблока.

Воронцовская структурно-формационная зона является вмещающей для основных проявлений сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений и рудопроявлений мамонского и еланского типов. Для них характерны следующие особенности:

1) развитие в автономном режиме в условиях временной сопряжённости эпикратонного прогиба и подвижных поясов раннепротерозойского возраста в сопредельном мегаблоке КМА;

2) ограниченные масштабы вулканизма на фоне преобладания процессов терригенного осадконакопления, формирующее однородность геологических разрезов;

3) широкое развитие углеродисто- и графитосодержащих сульфидизированных сланцев воронцовской серии, отличающихся низким и умеренным уровнями полифациальных метаморфических преобразований пород;

4) активная разломная тектоника района с определяющей ролью субпараллельных северо-западных прерывистых зон рассеянного спрединга, характеризующихся различной глубиной заложения и объемом латерального растяжения. Данные процессы предопределили возникновение и неоднократное функционирование контролирующих структур. В результате сформировались неравномерные по распределению, пространственной совмещенности магматические комплексы. Они отличаются по возрасту, составу, формационной принадлежности и металлогенической специализации.

Эколого-геодинамическая характеристика рассматриваемой территории позволяет сделать следующие выводы:

1. Геолого-структурное строение района Еланского и Елkinsкого месторождений предопределили глубину нахождения полезного ископаемого, которая составила около 2 км.

2. В результате особенностей геолого-геодинамического развития территории сульфидные медно-никелевые руды Еланского месторождения (4,5 км²) преимущественно вкрапленные, минеральный состав представлен: пирротинном (60–75%), пентландитом, халькопиритом, ограниченной долей арсенидов, сульфоарсенидов Ni, Co и хромшпинелидов. Главными рудовмещающими породами являются нориты, чередующиеся с диоритами. В еланском типе руд отмечается крайне высокое содержание вредных элементов и прежде всего мышьяка (0,05 %), Это приобретает особое значение при разработке месторождения, получении рудного концентрата и накопления отходов производства в виде значительного объема (до 40–60 %) поверхностных отвалов и хвостохранилищ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернышов Н. М. Расслоенные ультрамафит-мафитовые плутоны Хоперского мегаблока вкм (Центральная Россия). Геология, состав, природа магматического расплава, перспективы рудоносности / Н. М. Чернышов, Е. М. Боброва, В. М. Остуднев // Вестник ВГУ. Сер. Геология. – 2017. – № 1. – С. 76-89.
2. Чернышова М. Н. Сульфидные платиноидно-медно-никелевые и никель-кобальтовые руды в дайково-жильных комплексах и метасоматитах Воронежского кристаллического массива (Центральная Россия) / М. Н. Чернышова // Литосфера. – Екатеринбург. – 2006. – № 3. – С. 71-82.
3. Бударина В.А. Типизация горнодобывающих районов территории центральночерноземного экономического региона / Бударина В.А., И.И. Косинова, В.И. Попов, Ф.Н. Лисецкий, Л.С. Чернова // VII Международная научно-практическая конференция. Посвящается 15-летию кафедры экологической геологии геологического факультета Воронежского государственного университета, Севастополь, 20–22 сентября 2021 года. – Воронеж: Воронежская областная типография - издательство им. Е. А. Болховитинова, 2021. С. 153-158
4. Капустина Ю.А. Особенности геологического строения районов Еланского и Ёлкинского медно-никелевых месторождений / Ю. А. Капустина, И. И. Косинова // Фундаментальные проблемы системной безопасности : сборник V школы-семинара молодых ученых / Министерство науки и высшего образования РФ; Воронежский государственный университет; под ред. И.И. Косинова. – Воронеж, 2019. – С. 85-92.

ECOLOGICAL AND GEODYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE AREA OF THE YELANSKOYE DEPOSIT OF SULPHIDE COPPER-NICKEL ORES

*Budarina V.A., Kosinova I.I.
VSU, Russia*

Annotation. Deposits of sulfide copper-nickel ores in the Central part of Russia are associated with the processes of early and modern geotectonic activity. Their development is associated with significant environmental risks, which are manifested both in the ecological-geochemical and in the ecological-geodynamic component. The composition of toxic elements accompanying the mineral depends on the activity of ecological and geodynamic processes. The article gives a description of these processes that determine the environmental trends of the possible development of the field.

Key words: ecology, geodynamics, characteristics, deposit, sulfides, copper, nickel, megablock, risks.

ВЛИЯНИЕ ПАВЛОВСКОГО ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА НА ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ТЕРРИТОРИИ

*Бударина В.А., Косинова И.И., Леонова А.С., anny.gusakova@yandex.ru
ФГБУ ВО «Воронежский государственный университет»,
г. Воронеж, Россия*

Аннотация: в статье представлены результаты работ, выполненных с целью оценки эколого-геологической характеристики территории, где в процессе исследования изучались химические показатели компонентов природной среды, анализировалась зона влияния ГОКа, а сама методика исследования заключалась в отборе проб, количество которых составило восемь образцов, а также проведении полевых, камеральных и лабораторных работ с применением географических исследовательских систем и дистанционного зондирования.

Ключевые слова: эколого-геологические, территория, условия, влияние, Павловский, ГОК, загрязнения, ГИС-технологий.

Промышленные источники выбросов вредных веществ в атмосферу, характеризующие себя широким набором химического состава, негативно воздействуют на экологические параметры прилегающей территории и находят своё отражение на состоянии почвенного покрова, поверхностных вод, воздушного бассейна, где в свою очередь происходят различные фотохимические процессы, приводящие к появлению иных соединений, куда более серьёзных и опасных, степень негативного воздействия повышается, что может привести к отрицательным последствиям.

Изучение и выявление закономерностей локального масштаба воздействия загрязняющих примесей в зоне горно-обогатительного комбината, совокупная оценка характеристик загрязнения атмосферы и ряда других объектов окружающей среды с использованием комплексных мер в исследовании территории ГОКа, применение геоинформационного моделирования, в том числе географических исследовательских систем, позволит с большей долей вероятности прогнозировать уровень негативного воздействия от предполагаемых источников выбросов.

Целью исследования является анализ воздействия Павловского горно-обогатительного комбината на эколого-геологические характеристики прилегающей территории.

В качестве объекта исследования выступает Шкурлатовское месторождение гранитов, которое является одним из крупнейших на данный момент месторождений нерудных строительных материалов по запасам, размеру карьера и объемам добычи полезного ископаемого. Горные поро-

ды характеризуются выдержанностью литологического состава, высокими физико-механическими, декоративным и технологическими свойствами. В 2019 году из балансовых запасов было добыто 5693 тыс. м³, потери при добыче – 207 тыс. м, в том числе из запасов кат. С2 – 45 тыс. м³, потери – 2 тыс. м³ строительных камней, из которых производилась щебеночно-песчаная смесь и фракционированный щебень. [3]

Данные, опубликованные федеральной службой государственной статистики (Рис.1), на основе исследований промышленного производства строительных материалов Воронежской области, показывают суммарный производимый индекс по добыче полезных ископаемых, где при выборе общероссийского классификатора вида экономической деятельности (ОК-ВЭД 2) витрина статистических данных позволяет сформировать отчет за определенный период. [1]

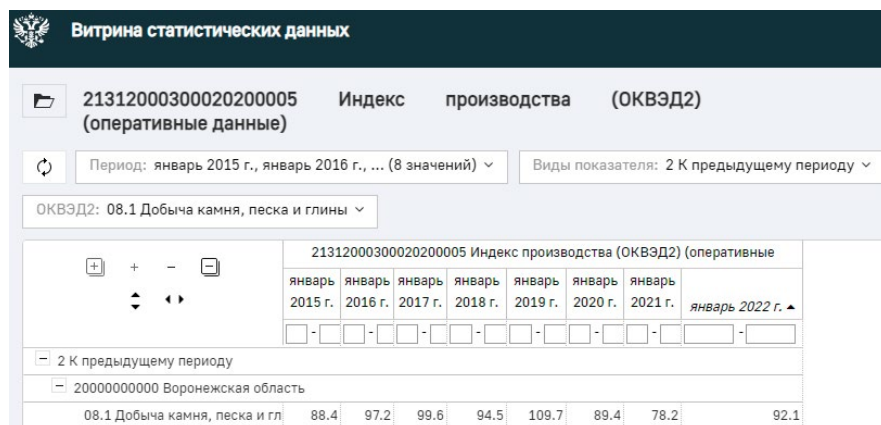


Рисунок 1 – Оперативные данные ФСГС

На основании представленных данных делаем вывод, что несмотря на значительное падение показателя добычи полезных ископаемых на 2021 год, индекс на 2022 год значительно набирает обороты в производстве, следовательно значительно повышается уровень техногенной нагрузки. [1]

В 2021 году проведены комплексные обследования зоны влияния Павловского ГОКа в радиусе 7.5 км. от исследуемого объекта. Визуальная фиксация концентраций запыления исследуемой территории производилась на основе информации по преобладающим направлениям ветров. (Рис.2) В целом достаточно высокий уровень приземных концентраций пыли негативно сказывается на состоянии не только растительного покрова, но и в целом на плодородии почв.[2]

Поля рассеивания преимущественно имеют юго-западное и юго-восточное направления.

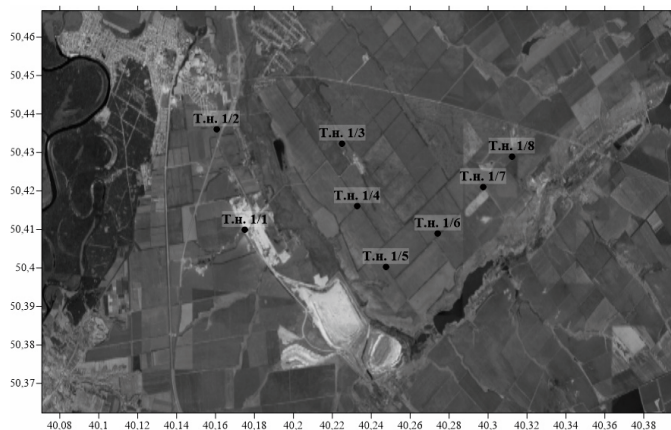


Рисунок 2 – Схема фактического материала

Координаты точек наблюдения (Таблица 1) были получены в результате применения дистанционного зондирования исследуемой территории.

Таблица 1 – GPS-данные по точкам наблюдения

Т.н.	N	Е	высота, м
1/1	50° 24' 35.7''	40° 10' 30.7''	111
1/2	50° 26' 09.8''	40° 09' 38.0''	98
1/3	50° 25' 56.5''	40° 13' 30.4''	102
1/4	50° 24' 58.0''	40° 13' 57.9''	125
1/5	50° 24' 01.1''	40° 14' 50.8''	124
1/6	50° 24' 32.3''	40° 16' 26.8''	139
1/7	50° 25' 15.9''	40° 17' 50.6''	152
1/8	50° 25' 44.4''	40° 18' 43.7''	156

Состояние растительности в исследуемом районе требует особого экологического внимания (Таблица 2).

Таблица 2 – Общие данные о состоянии растительного покрова

Т.н.	Количество ярусов	Уровень запыления в %	Состояние растительности
1.1	3	100	Угнетенное (1)
1.2	2	50	Средне-угнетенное (2)
1.3	2	20	Среднее (3)

1.4	2	30	Средне-угнетенное (2)
1.5	2	40	Среднее (3)
1.6	2	20	Среднее (3)
1.7	2	15	Нормальное (4)
1.8	2	10	Нормальное (4)

Уровень запыления фиксировался нами по площади покрытия листьев растительности пылью. Максимальные значения представляют собой ситуации, при которых площадь листа полностью покрыта пылью-до 100%. Нами выделена следующая градация экологических оценок по степени запыления:

- высокие уровни запыления-площадь от 70 до 100%;
- средние уровни запыления -площадь от 40 до 69%;
- низкие уровни запыления-площадь от 20 до 39%;
- допустимые уровни запыления -площадь менее 20%.

Выделение данных градаций произведено нами на основании анализа соотношения уровней запыления и состояния растительности. Так первому уровню запыления соответствует угнетенная растительность, второму-средне-угнетенная, третьему-угнетенная. Нормальное состояние растительности фиксируется при допустимых уровнях запыления. Исследование содержания тяжелых металлов в пыли Павловского ГОКа производилось нами по методике, изложенной в работе [4].

Пространственная оценка уровней запыления представлена на рис.3. Высокие уровни запыления зафиксированы на расстоянии до 2 км от отвалов отсева гранитов. Средние уровни запыления наблюдаются на расстоянии 4-4.5 км. Более низкие уровни запыления характерны для растительности, произрастающей на удалении от 4 до 6 км от источников пыления. Источниками воздействия являются:

- материал буровзрывного облака,
- пыль дробильных устройств,
- пыль отвалов отсева гранитов,
- карьерный транспорт.

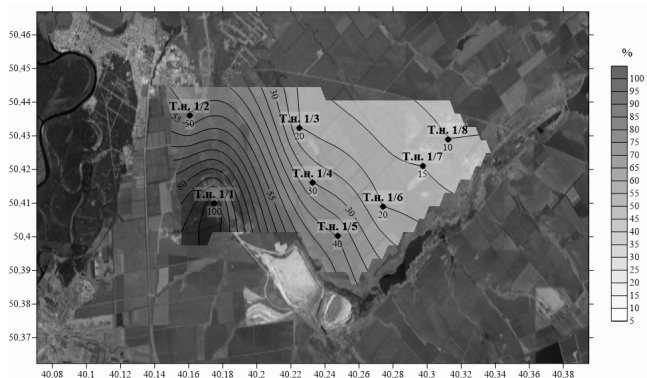


Рисунок 3 – Схема запыления области маршрута

Выявлено, что максимальное негативное влияние на прилегающие территории оказывает пыление отвалов отсева. Следует подчеркнуть, что прилегающие территории активно используются в сельскохозяйственных целях.

На основе приведенных исследований можно сделать вывод: техногенная нагрузка, возрастающая с начала 2021 года в геометрической прогрессии по предоставленным данным ФСГС, в совокупности с другими видами работ, производимыми на данном объекте исследования, оказывает негативное воздействие на окружающую среду прилегающей территории. Уровни максимального запыления территории фиксируются на расстоянии 3-4 км от карьера. Данное обстоятельство должно быть учтено при использовании территорий, прилегающих к Павловскому ГОКу. Использование их в сельскохозяйственных целях нецелесообразно. Наиболее рациональным является лесохозяйственное освоение прилегающих территорий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Витрина статистических данных ФСГС: – URL: <https://showdata.gks.ru/report/274128/> (дата обращения 12.01.2022)
2. ГОСТ Р 56929-2016 Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу: – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200135564> (дата обращения 6 марта 2022)
3. Национальная нерудная компания: – URL: <https://nnk.ru/quarries-map/5/>
4. Щербакова, И. Н Миграция тяжёлых металлов (Cu, Pb, Zn, Fe, Cd) в ореоле рассеяния Урского хвостохранилища (Кемеровская область) / И. Н. Щербаков, М. А. Густайтис, Е. В. Лазарева, А. А. Богущ // Химия в интересах устойчивого развития. – 2010. – № 56. – С. 21-633.

THE INFLUENCE OF THE PAVLOVSKY MINING AND PROCESSING PLANT ON THE ECOLOGICAL AND GEOLOGICAL CONDITIONS OF THE TERRITORY

*V.A.Budarina, I.I.Kosinova, A. S. Leonova, anny.gusakova@yandex.ru
Voronezh State University, Voronezh, Russia*

Abstract: the article presents the results of the work carried out to assess the ecological and geological characteristics of the territory, where the chemical parameters of the components of the natural environment were studied during the study, the GOK influence zone was analyzed, and the research methodology itself consisted in sampling, the number of which was eight samples, as well as conducting field, desk and laboratory work using geographical research systems and remote sensing.

Keywords: ecological and geological, territory, conditions, influence, Pavlovsky, MPP, pollution, GIS technologies.

УДК 911.2+504.54

ИНДИКАЦИОННАЯ ДИАГНОСТИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛИГОНА ХИМИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

*Гусев А.П., Андрушко С.В., Моляренко В.Л.
Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины
ул. Советская, 104, 246003 г. Гомель, Республика Беларусь
Гусев Андрей Петрович, e-mail: andi_gusev@mail.ru*

Аннотация. Цель исследований – оценка загрязнения геологической среды на основе комплекса индикаторов. Объект исследований – полигон химических отходов. Разработан и апробирован комплекс методов, состоящий из фитоиндикации, геоэлектрического профилирования методом сопротивления и многозональной космической съемки, которые позволяют быстро и эффективно оценить химическое загрязнение верхней части геологической среды. В зоне влияния полигона отходов фосфогипса по комплексу индикаторов выделено 2 техногенных модификации (ТМ-1, ТМ-2) исходной фоновой геосистемы.

Ключевые слова: химическое загрязнение, геологическая среда, вегетационный индекс, метод сопротивлений, фитоиндикатор

Для изучения состояния геологической среды в зоне влияния экологически опасных техногенных объектов используются различные методы – геохимические, геофизические, биоиндикационные, каждый из которых имеет как преимущества, так и недостатки. Важное значение имеет разра-

ботка комплекса индикаторов для оперативной диагностики состояния геологической среды, который позволяет при относительно невысоких затратах времени и финансов получать максимум информации.

Фитоиндикация – это метод, основанный на использовании способности растений, отражать условия их произрастания. В качестве фитоиндикаторов среды выступают как отдельные виды растений, так и растительные сообщества – фитоценозы. Растения и их сообщества могут использоваться для оценки различных свойств почв и грунтов – влажности, содержания солей, азота, кислотнo-щелочных условий [1]. Фитоиндикация широко используется для картографирования и мониторинга загрязнения воздуха [2], при изучении загрязнения почвенного покрова [3, 4]. Фитоиндикационные исследования могут осуществлять как с помощью наземных съемок, так и на основе дистанционного зондирования Земли.

Использование космической многозональной съемки для фитоиндикации основано, на том, что спектрально-отражательные свойства растительности зависят от ее состояния. При этом для фитоиндикации на основе многозональной съемки важны не абсолютные значения яркости, а характерные соотношения между значениями яркости в разных информативных для характеристики растительности спектральных зонах – вегетационные индексы [5].

В ряде случаев показатели растительности (полученные как наземными, так и дистанционными методами) являются неспецифическими индикаторами тех или иных процессов динамики геосистем. Например, отсутствуют какие-либо фитоиндикаторы (виды растений, фитоценозы, показатели состояния растительного покрова), по которым можно было непосредственно диагностировать химическое загрязнение компонентов геосистем или геологические процессы. Для верификации фитоиндикационной оценки требуется дополнительная информация. Использование для этого непосредственно геохимических исследований (при изучении загрязнения) или бурения скважин (при изучении геологических процессов) лишает фитоиндикацию многих ее преимуществ (оперативности, экономичности, пространственного охвата). С нашей точки зрения, для совершенствования интерпретации фитоиндикационных исследований следует использовать методы малоглубинной геофизики, в частности геоэлектрические. Геоэлектрические методы, основанные на измерении электрических свойств геологической среды (т.е. морфолитогенной основы геосистем), также обладают оперативностью и экономичностью [6, 7], но имеют сложности в интерпретации. Комплексное применение фитоиндикации и геоэлектрической диагностики позволяет значительно увеличить их эффективность при изучении дигрессивной динамики геосистем, выраженной в загрязнении и развитии негативных геологических процессов.

Целью исследований являлось изучение состояния геологической среды в зоне влияния экологических опасных объектов на примере полигона отходов с помощью комплекса индикаторов. Решались следующие задачи: изучение химического загрязнения верхней части геологической среды на территории и в зоне влияния полигонов отходов методом наземной и дистанционной фитоиндикации, а также с помощью электропрофилирования методом сопротивлений на разных разностях питающих электродов; выяснение эффективности комплекса геоэлектрики и фитоиндикации для оценки химического загрязнения.

Объект и методика

Объект исследований: полигон отходов фосфогипса Гомельского химического завода (ГХЗ). Полигон занимает территорию более 100 га. Фосфогипс содержит в своем составе около 97% гипса, а также фосфаты железа и алюминия, ортофосфорную кислоту, фторсиликаты калия и натрия, фториды кальция, соединения марганца, молибдена, кобальта, редкоземельные элементы. Вследствие этого отвалы фосфогипса являются постоянно действующим источником поступления загрязняющих веществ в поверхностные и грунтовые воды, почвогрунты, причиной деградации растительного покрова [3, 4, 8].

Методы исследования:

геоботаническая съемка – изучение показателей растительности (общее проективное покрытие, видовой состав, видовое богатство) на пробных площадках 10х10 м;

дешифрирование многозональных космических снимков спутников Sentinel-2 и расчет вегетационных индексов – NDVI, GNDVI, NBR, SWVI (табл. 1);

Таблица 1 – Характеристика используемых вегетационных индексов

Вегетационный индекс	Формула для расчета на основе каналов спутников Sentinel-2
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	$(NIR - R)/(NIR + R)$
GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index)	$(NIR - G)/(NIR + G)$
Вегетационный индекс	Формула для расчета на основе каналов спутников Sentinel-2
NBR (Normalized Burn Ratio)	$(NIR - SWIR2)/(NIR + SWIR2)$
SWVI (Short Wave Vegetation Index)	$(NIR - SWIR1)/(NIR + SWIR1)$

Примечание. Каналы: NIR – ближний инфракрасный; R – красный; G – зеленый; SWIR2 – коротковолновой инфракрасный; SWIR1 – коротковолновой инфракрасный.

Электропрофилирование методом сопротивлений с помощью симметричной четырехэлектродной установки AMNB (разносы – $AB=1,5$ м, $MN=0,5$ м; $AB=3$ м, $MN=1$ м; $AB=10$ м, $MN=3$ м); шаг профилирования 10-50 м; для измерений использовалась электроразведочная аппаратура ERA-MAX.

Результаты и их обсуждение

В результате техногенного воздействия образуются модификации природных геосистем, которые можно рассматривать как стадии процессов деградации (воздействие увеличивается) или восстановления (воздействие снижается). Выделение модификаций осуществляется на основе сравнения с фоновой геосистемой комплекса показателей-индикаторов. Количество модификаций (стадия ряда деградации или восстановления) зависит от решаемых задач, доступной информации, используемых показателей и других факторов. Модификации могут выделяться на основе как качественных, так и количественных критериев. В последнем случае количество модификаций в пределах одного генетического ряда обусловлено возможностью их распознавать с заданной вероятностью по имеющимся показателям.

В зоне влияния полигона отходов фосфогипса по комплексу индикаторов нами выделено 2 техногенных модификации (ТМ-1, ТМ-2) исходной фоновой геосистемы (таблица 2). Зона ТМ-1 характеризуется максимальным уровнем техногенного воздействия, выраженном в химическом загрязнении почвогрунтов и грунтовых вод. Здесь растительный покров характеризуется низким проективным покрытием и видовым разнообразием (доминирует устойчивый к засолению тростник обыкновенный). По сравнению с фоновой геосистемой проективное покрытие ниже в 2,8 раза, видовое богатство – в 3 раза. Нарушение растительного покрова сказывается на спектрально-отражательных свойствах земной поверхности, и соответственно на значениях вегетационных индексов. Так, величина NDVI снижается в 1,9 раза, GNDVI – в 1,8 раза, NBR – в 1,9 раза, SWVI – в 9,5 раза по сравнению с фоновой геосистемой. В зоне ТМ-2 наблюдается средний уровень техногенного воздействия: по сравнению с фоновой геосистемой проективное покрытие растительности ниже в 1,8 раза, видовое богатство – в 1,7 раза. Из вегетационных индексов в наибольшей степени по фоновой геосистеме отличается SWVI (в 2,4 раза ниже).

Результаты, полученные на основе фитоиндикации, совпадают с данными геоэлектрических исследований методом сопротивления. Выполненное электрическое профилирование на малых разносах питающей линии АВ (3 и 10 м) методом сопротивлений показало закономерные изменения кажущегося удельного электрического сопротивления почвогрунтов (примерная глубина 0,3-2,5 м). Обобщенные результаты измерений приво-

дятся в таблица 2, где они сгруппированы по зонам техногенных модификаций.

Для фоновой территории характерно снижение кажущегося сопротивления с эффективной глубиной исследований, что обусловлено наличием водоносного горизонта (по данным замеров в скважинах уровень грунтовых вод находится на глубине 2-5 м) и особенностями геологического строения верхней части разреза (водноледниковые пески и супеси подстилаются моренными суглинками). В зоне влияния отвалов (ТМ-1) для всего изучаемого разреза характерно низкое кажущееся сопротивление (менее 10 Ом·м), что указывает на высокую степень засоления почвогрунтов и грунтовых вод.

Таблица 2 – Индикаторы трансформация геологической среды по градиенту воздействия в зоне влияния отвалов фосфогипса

Показатель	Градиент химического воздействия		
	Фоновая геосистема	ТМ-2	ТМ-1
Показатели растительности			
Общее проективное покрытие, %	90,0*	51,1	32,0
Видовое богатство, число видов на 100 м ²	15,7	9,0	5,3
Геоэлектрические показатели			
Кажущееся удельное электрическое сопротивление на разносах АВ=3 м, Ом·м	335±99**	33,9±7,4	11,8±3,8
Кажущееся удельное электрическое сопротивление на разносах АВ=10 м, Ом·м	226±50	66,0±8,5	6,8±3,5
Вегетационные индексы			
NDVI	0,701±0,08**	0,511±0,11	0,366±0,11
GNDVI	0,675±0,07	0,542±0,10	0,373±0,12
NBR	0,481±0,08	0,375±0,10	0,260±0,13
SWVI	0,190±0,08	0,08±0,11	0,02±0,12

* – среднее значение; ** – среднее и стандартное отклонение.

В зоне влияния отвалов (до 100 м от границы отвалов по направлению поверхностного и подземного стока) имеет место увеличение кажущегося сопротивления сверху вниз: наименьшее сопротивление имеет самая верхняя часть разреза (первые десятки см), а затем с глубиной сопротивление возрастает (примерно в 2 раза). Этот факт указывает на то, что источником химического загрязнения в этой зоне являются поверхностные воды, а направление движения загрязненных вод по вертикали – нисходящее.

На расстоянии 100-200 м от границы отвалов фосфогипса по направлению стока дифференциация разреза по кажущемуся сопротивлению слабая, а по сравнению с зоной отвалов величина сопротивления увеличивается на порядок. Фитоиндикаторы показывают непосредственно поверхностный эффект загрязнения, а геоэлектрический метод позволяет судить о глубинной структуре загрязнения, в том числе направленности потока поллютантов.

На рисунке 1 показаны изменения кажущегося электрического сопротивления на эффективной глубине, соответствующей разностям $AB=10$ м, по профилю, пересекающему зону влияния отвалов фосфогипса.

В центральной части профиля наблюдается снижение сопротивления ниже 50 Ом·м, NDVI снижаются до 0,2-0,3, а SWVI – до отрицательных значений. При этом зона снижения кажущегося сопротивления имеет большую протяженность, чем зона повреждения растительности, выделенная по вегетационным индексам. Это можно объяснить тем, что растительность отражает приповерхностное загрязнение (в пределах корнеобитаемого слоя), а геоэлектрический метод – загрязнение всей зоны аэрации и грунтовых вод.

Фитоиндикаторы позволяют уточнить природу геоэлектрических аномалий. Так, например, удельное электрическое сопротивление массива почвогрунтов зависит от влажности, которая в свою очередь обусловлена глубиной залегания уровня грунтовых вод. Рост влажности при уменьшении глубины залегания грунтовых вод приводит к снижению кажущегося сопротивления. При отсутствии химического загрязнения увеличение влажности (до определенного предела), как правило, или никак не сказывается на проективном покрытии и видовом богатстве растительности, или приводит к росту этих показателей.

Заключение

Геоэлектрический и фитоиндикационный методы дополняют друг друга: дистанционная и наземная фитоиндикация фиксирует приповерхностный эффект химического загрязнения геологической среды, а геоэлектрический метод прослеживает распространение загрязнения на различных глубинах. Применение геоэлектрических и фитоиндикационных методов для изучения состояния геологической среды в зоне влияния экологических опасных техногенных объектов позволяет осуществлять непрерывные площадные наблюдения при относительно низкой стоимости работ, без бурения скважин и нарушения растительно-почвенного покрова горными выработками.

Таким образом, комплекс методов, состоящий из фитоиндикации, геоэлектрического метода и многозональной космической съемки, позволяет быстро и эффективно оценить химическое загрязнение верхней части геологической среды.

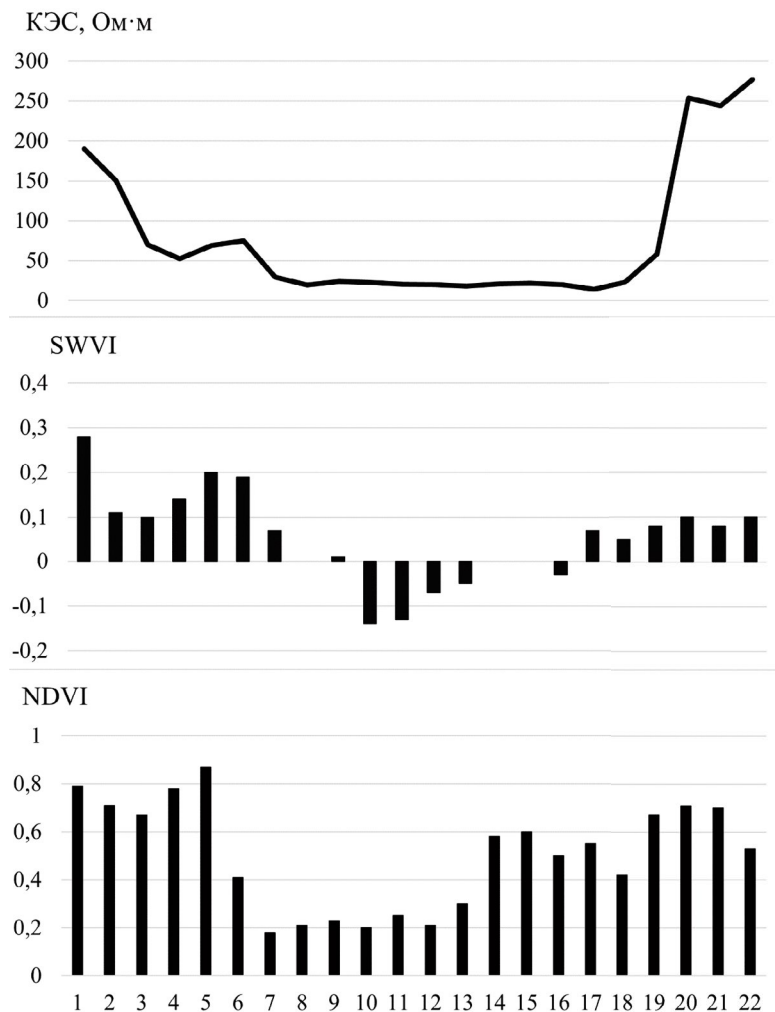


Рисунок 1 – Изменения кажущегося электрического сопротивления (КЭС) на разносах АВ=10 м и вегетационных индексов (SWVI и NDVI) по профилю через зону загрязнения почвогрунтов и грунтовых вод

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем / под ред. Р. Шуберта. М.: Мир, 1988. 350 с.

2. Гусев А.П. Индикаторы деградации лесных ландшафтов Белорусского Полесья в зоне влияния химического производства // География и природные ресурсы. 2005. №4. С. 145-147.

3. Гусев А.П. Фитоиндикаторы техногенного подтопления в зоне влияния полигона промышленных отходов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2015. – №1. – С. 128-131.

4. Гусев А.П., Шпилевская Н.С. Фитоиндикаторы техногенного химического воздействия на луговые экосистемы // Экосистемы. 2020. Т.22. С. 53-59.

5. The use of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to assess land degradation at multiple scales: a review of the current status, future trends, and practical considerations / G.T. Yengoh, D. Dent, L. Olsson, A.E. Tengberg, C.J. Tucker. – Lund University Centre for Sustainability Studies LUCSUS, 2014. – 80 p.

6. Матвеев Б.К. Электроразведка. М.: Недра, 1990. 368 с.

7. Рудкин М.Д., Балоян Б.М., Хмелевской В.К. Геофизика на службе экологов, геологов и не только....: Теория и практика. М.: Изд-во «Угреша», 2018. 513 с.

8. Гусев А.П., Верутин М.Г., Калейчик П.А., Прилуцкий И.О., Шаврин И.А. Геоэлектрическая диагностика загрязнения геологической среды в зоне влияния полигона токсичных отходов // Вестник Пермского университета. Геология. – 2019. – Т.18. – №1. С. 79-85.

INDICATIVE DIAGNOSTICS OF THE CONTAMINATION OF THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT IN THE ZONE OF INFLUENCE OF THE CHEMICAL WASTE LANDFILL

A.P. Gusev

FranciskSkorina Gomel State University, Gomel, Republic of Belarus

Abstract. The purpose of the research is to assess the pollution of the geological environment based on a set of indicators. The object of research is a chemical waste landfill. A set of methods has been developed and tested, consisting of phytoindication, geoelectric profiling by the resistivity method and multispectral satellite imagery, which makes it possible to quickly and efficiently assess the chemical pollution of the upper part of the geological environment. In the zone of influence of the phosphogypsum waste landfill, 2 technogenic modifications (TM-1, TM-2) of the initial background geosystem were identified by a set of indicators.

Keywords: chemical pollution, geological environment, vegetation index, resistance method, phytoindicator

ДИСТАНЦИОННАЯ ДИАГНОСТИКА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЧУЖЕРОДНЫХ ВИДОВ-ТРАНСФОРМЕРОВ

Гусев А.П., Моляренко В.Л.

*Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины
г. Гомель, Республика Беларусь*

Гусев Андрей Петрович, e-mail: andi_gusev@mail.ru

Аннотация. Цель исследований – оценка распространения чужеродных видов-трансформеров на основе космической съемки. Объект исследований – экосистемы, подверженные вторжению чужеродных видов-трансформеров. Рассмотрены возможности многозональной космической съемки спутников Sentinel-2 для выявления фитоценозов, сформированных чужеродными видами трансформерами, в антропогенных и природно-антропогенных ландшафтах.

Ключевые слова: чужеродные виды-трансформеры, дистанционное зондирование Земли, Sentinel-2, спектральная диаграмма, вегетационные индексы

Вторжение чужеродных растений – злободневная экологическая проблема, характерная для разных регионов мира [1, 2]. В большинстве случаев чужеродные виды вторгаются в антропогенные и природно-антропогенные ландшафты – рудеральные, сельскохозяйственные, городские, транспортные, в меньшей степени – в природные и полуприродные ландшафты.

Наибольшие экологические последствия вызывают вторжения видов-трансформеров, под которыми принято понимать чужеродные виды, способные изменять характер, состояние, облик и сущность экосистем на значительной площади [2, 3].

В результате инвазии растений-трансформеров могут образовываться новые ландшафты и экосистемы, характеризующиеся слабо предсказуемым поведением. Актуальность изучения вторжения чужеродных видов-трансформеров в природные ландшафты обусловлена долговременными последствиями этого процесса, которые могут влиять на биологическую продуктивность экосистем, таксономическое разнообразие флоры, процессы самовозобновления растительности, местообитания редких и исчезающих видов растений и животных.

Важным фактором вторжения чужеродных растений являются климатические изменения. Потепление климата на территории Беларуси в начале XXI века (средняя температура на юго-востоке страны увеличилась на 1.3 °С, сумма температур более 10 °С превысила 2600 градусов [4]) приве-

ло к агрессивному распространению таких видов-трансформеров, как *Solidago canadensis* L., *Acer negundo* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Ambrosia artemisiifolia* L. [1, 5, 6, 7].

Цель работы – выяснение возможностей многозональной космической съемки спутников Sentinel-2 для изучения распространения фитоценозов с доминированием чужеродных видов-трансформеров в антропогенных и природно-антропогенных ландшафтах юго-востока Беларуси. Исследования проводились на примере двух видов, способных создавать сравнительно обширные по площади монодоминантные заросли – золотарника канадского (*Solidago canadensis* L.) и клена ясенелистного (*Acer negundo* L.).

Методика

Исследования включали: 1) выяснение спектральных характеристик сообществ с доминированием *Solidago canadensis* и их отличий от других травянистых фитоценозов; 2) выяснение спектральных характеристик сообществ с доминированием *Acer negundo* и их отличий от других древесных насаждений; 3) расчет вегетационных индексов сообществ с доминированием чужеродных трансформеров и изучение их сезонных изменений; 4) проведение и оценка точности классификации растительного покрова в антропогенных ландшафтах на основе летних снимков Sentinel-2.

Для получения спектральных характеристик использованы тестовых участки, на которых маршрутным методом определялся тип фитоценоза и основные его показатели. Средняя площадь тестовых участков сообществ *Solidago canadensis* 0,54 га (14 участков), сообществ с доминированием *Acer negundo* – 1,37 га (7 участков).

В работе использованы данные спутников Sentinel-2, летающих на солнечно-синхронной орбите и предназначенных для систематической мультиспектральной съемки. Пространственное разрешение съемки составляет 10-60 м. Периодичность съемки – 2-3 дня. Данные Sentinel находятся в свободном доступе на Copernicus Open Access Hub. Использованы безоблачные снимки 08.04.2018, 01.05.2018, 25.05.2018, 20.06.2018, 11.08.2018, 26.08.2018, 20.09.2018, 18.10.2018.

Атмосферная коррекция, привязка, оцифровка космических снимков, расчет вегетационных индексов были выполнены в QGIS 3.6. Для построения спектральных диаграмм и классификации с обучением использована программа MultiSpec.

Для диагностики использованы вегетационные индексы NDVI, NBR, SWVI (табл. 1). Для каждого тестового участка рассчитывались средние и максимальные значения указанных индексов.

Таблица 1 – Характеристика используемых вегетационных индексов

Вегетационный индекс	Формула для расчета на основе каналов спутников Sentinel-2
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	$(NIR - R)/(NIR + R)$
NBR (Normalized Burn Ratio)	$(NIR - SWIR2)/(NIR + SWIR2)$
SWVI (Short Wave Vegetation Index)	$(NIR - SWIR1)/(NIR + SWIR1)$

Примечание. Каналы: NIR – ближний инфракрасный; R – красный; G – зеленый; SWIR2 – коротковолновой инфракрасный; SWIR1 – коротковолновой инфракрасный.

Результаты и их обсуждение

Золотарник канадский (*Solidago canadensis* L.) – это североамериканский травяной многолетник, который формирует густые заросли высотой до 2 м и плотностью более 300 побегов на 1 м². [1, 2]. Вторжение *Solidago canadensis* изменяет структуру растительных сообществ, свойства почвенного покрова, вероятно, влияет на поверхностный сток. В ландшафтах Белорусского Полесья *Solidago canadensis* способен блокировать восстановительные сукцессии на залежах и оказывать негативное воздействие на видовое разнообразие луговых и рудеральных сообществ [5, 8, 9]. Наибольшая встречаемость *Solidago canadensis* приурочена к антропогенным ландшафтам, где можно наблюдать фитоценозы с доминированием этого трансформера. Густой травостой *Solidago canadensis* нарушает развитие восстановительной сукцессии, негативно влияет на флористическое богатство, подавляет естественное возобновление местных деревьев и кустарников [5, 9].

Клен ясенелистный (*Acer negundo* L.) – это североамериканское дерево высотой до 20-25 м, сформировавшее на территории Евразии обширный ареал. Широко культивируется в антропогенных ландшафтах, внедрился в природные ландшафты. Обладает высокой приспособляемостью к различным условиям за счет толерантности к дефициту почвенной влаги и питательных веществ. *Acer negundo* воздействует на природные экосистемы за счет высокой продуктивности, может конкурентно вытеснять другие виды деревьев, создавая затенение, потребляя биогенные химические элементы. Кроме того, пыльца *Acer negundo* является аллергеном, негативно воздействующим на здоровье человека [1, 2].

Использование космической многозональной съемки для диагностики фитоценозов с доминированием чужеродных видов-трансформеров основано особенностях их спектрально-отражательных свойств. Так, для каждого из рассмотренных объектов характерна своя спектральная диаграмма (рис. 1 и 2).

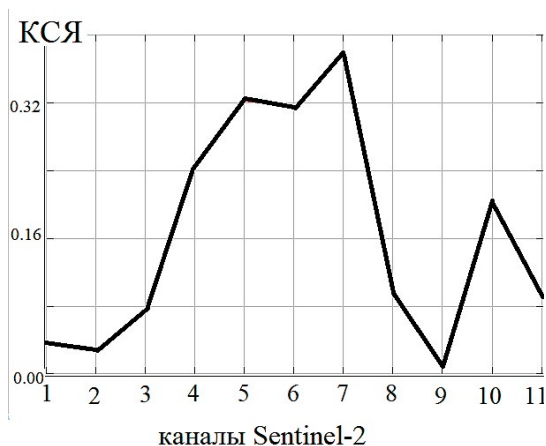


Рисунок 1 – Спектральная диаграмма фитоценоза *Solidago canadensis*

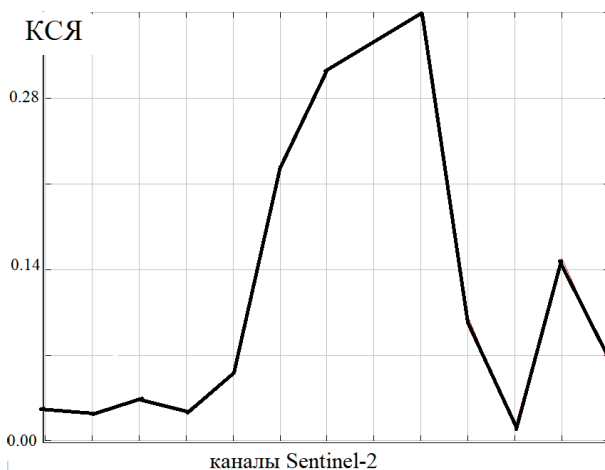


Рисунок 2 – Спектральная диаграмма фитоценоза *Acer negundo*

Рассмотрим результаты изучения вегетационных индексов сообществ с доминированием чужеродных трансформеров. Установлено, что в течение вегетационного сезона максимальный NDVI в сообществах с доминированием *Solidago canadensis* колеблется в среднем от 0,325 (в начале апреля) до 0,596 (в октябре). Апрельские максимальные NDVI изменяются в пределах 0,240-0,493, октябрьские – 0,536-0,688. В мае максимальные значение NDVI увеличиваются 0,776 (0,645-0,887). Наибольшей величины

максимальные значения NDVI достигают в конце июня-начале августа – 0,753 (0,61-0,88).

Средние значения NDVI в сообществах с доминированием *Solidago canadensis* колеблется от 0,275 (в начале апреля) до 0,510 (в октябре). В мае средние NDVI составляют от 0,495 (начало мая) до 0,673 (конец мая). Значения летних NDVI в сообществах с доминированием *Solidago canadensis* изменяется 0,511 до 0,821. Максимум средних NDVI приходится на конец июня-июль (0,624-0,888).

Максимальные значения NBR в сообществах с доминированием *Solidago canadensis* изменяются от -0,002 (начало апреля) до 0,530 (конец июня). В август происходит снижение до 0,444, в сентябре – 0,468, в октябре – до 0,345. Средние значения NBR в сообществах с доминированием *Solidago canadensis* изменяются от -0,077 (начало апреля) до 0,431 (конец июня), уменьшаясь к октябрю до 0,196. Положительными значения NBR становятся к концу апреля.

Максимальные значения SWVI изменяются от -0,146 (начало апреля) до 0,298 (конец июня). Далее происходит снижение: август – 0,200, сентябрь – 0,174, октябрь – 0,074. SWVI<0 характерно для апреля, частично для начала мая (28,6% тестовых участков) и октября (21,4% тестовых участков). Средние значения SWVI колеблются в пределах от -0,209 (начало апреля) до 0,208 (конец июня). SWVI<0 наблюдаются в апреле (100% тестовых участков), начале мая (57,1%) и в октябре (100%).

Максимальные значения NDVI сообществ с доминированием *Acer negundo* составляют 0,830-0,881 в летний период. Средние значения NDVI сообществ с доминированием *Acer negundo* достигают максимума в конце мая и в течение лета изменяются слабо. В зависимости от тестового участка средние значения NDVI в течение лета составляют 0,829-0,865. В целом для этих сообществ характерна невысокая вариабельность NDVI в течение лета. В апреле величина NDVI в среднем составляет 0,352 (0,332-0,375), в начале мая – 0,700 (0,654-0,768), в сентябре – 0,775 (0,734-0,800), в октябре – 0,566 (0,506-0,621).

Средние величины NBR изменяются от -0,044 (начало апреля) до 0,64 (конец мая – июнь). Максимальные величины NBR составляют от 0,049 (начало апреля) до 0,725 (конец июня). В августе средние величины снижаются до 0,560-0,600, а максимальные – до 0,65-0,67.

Средние величины SWVI изменяются от -0,183 (начало апреля) до 0,403 (конец мая). Максимальные величины SWVI составляют от -0,092 (начало апреля) до 0,483 (конец мая). В августе средние величины SWVI снижаются до 0,26-0,31, а максимальные – до 0,37-0,39.

Таблица 2 – Вегетационные индексы сообществ с доминированием видов-трансформеров в летний период (среднее, минимальное-максимальное)

Индекс	Сообщества с доминированием <i>Solidago canadensis</i>	Сообщества с доминированием <i>Acer negundo</i>
NDVI	0,700 0,511-0,821	0,839 0,829-0,865
NBR	0,398 0,122-0,588	0,610 0,578-0,657
SWVI	0,151 0,011-0,313	0,341 0,311-0,373

Была изучена сезонная динамика вегетационных индексов в фитоценозах с доминированием *Solidago canadensis* и фоновых травянистых фитоценозах. В качестве фоновых фитоценозов рассматривали типичных для антропогенных ландшафтов сообщества: луговые (классы растительности Molinio-Arrhenatheretea и Sedo-Scleranthethea), рудеральные и сеgetальные (класс растительности Chenopodietea), а также агрофитоценозы. Фитоценозы *Solidago canadensis* существенно отличаются как абсолютным значениям NDVI, так и по особенностям сезонной динамики (рис. 3). Сезонная кривая NDVI этих сообществ отличается от рассматриваемой фоновой растительности. Максимальные различия имеют место в августе и сентябре. По NBR и SWVI различия между фитоценозами *Solidago canadensis* и луговой растительностью класса Molinio-Arrhenatheretea минимальны.

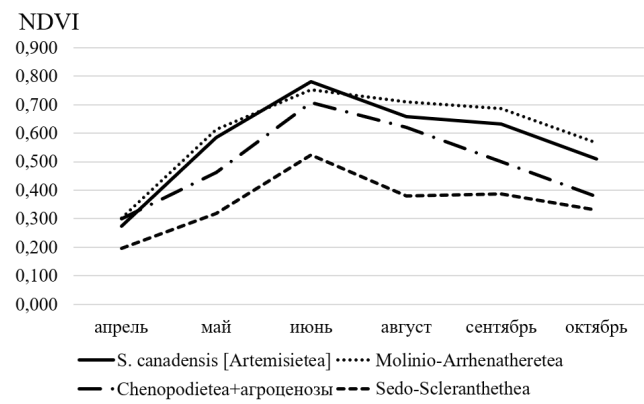
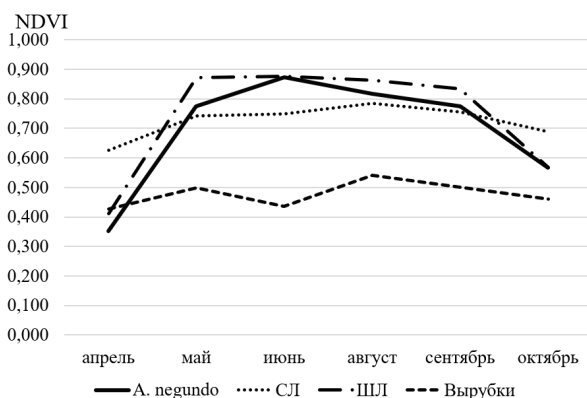


Рисунок 3 – Сезонная динамика NDVI в травянистых фитоценозах

Была изучена сезонная динамика вегетационных индексов в фитоценозах с доминированием *Acer negundo* и фоновых древесно-кустарниковых фитоценозах. В качестве фоновых фитоценозов рассматривали: сосновые насаждения; лиственные насаждения; растительность вырубок. По NDVI наиболее сильно фитоценозы с доминированием *Acer negundo* отличаются от сосновых насаждений и вырубок (рис. 4). Отличия от лиственных насаждений проявляются в майских, августовских и сентябрьских NDVI. По NBR и SWVI фитоценозы *Acer negundo* от лиственных насаждений практически не отличаются.



СЛ – сосновые насаждения; ШЛ – лиственные насаждения
Рисунок 4 – Сезонная динамика NDVI в древесно-кустарниковых фитоценозах

В ходе работы были использованы 4 метода управляемой классификации (классификации с обучением): метод максимального правдоподобия (Maximum likelihood); метод наименьшего эвклидова расстояния (Minimum Euclidean distance); метод расстояния Махаланобиса (Mahalanobis); метод параллелепипеда (Parallelepiped). Классификация проводилась по одному снимку (август) отдельно для травянистой растительности и отдельно для древесно-кустарниковой растительности.

Точность классификации оценивалась для каждого класса по пропущенным пикселям (ошибки пропуска) и по ложноклассифицированным пикселям (ошибки ложной классификации). Кроме того, оценена общая точность классификации (% правильно проклассифицированных пикселей) и каппа (оценка классификации после исключения случайных совпадений). Если сравнивать используемые методы по общей точности классификации и критерию каппа, то лучшие результаты показал метод максимального правдоподобия. Однако, общая точность классификации даже в этом слу-

чае не превышала 75%, а значение каппа – 30% (т.е. результат классификации неудовлетворителен), что, вероятно, обусловлено относительно малыми площадями сообществ *Solidago canadensis* и *Acer negundo*, в обучающей выборке.

Таким образом, в ходе исследований установлено, что данные Sentinel-2 могут использоваться для дистанционной диагностики фитоценозов с доминированием таких чужеродных видов-трансформеров, как *Solidago canadensis* и *Acer negundo* при соблюдении ряда требований: площадь объектов должна быть не менее 0,5 га; анализироваться должна серия безоблачных снимков, охватывающая значительную часть вегетационного сезона (как минимум с мая по сентябрь); создание обучающей выборки должно быть основано на наземных полевых исследованиях объектов.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Белорусского фонда фундаментальных исследований (проект №Б20Р-090).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черная книга флоры Беларуси: чужеродные вредоносные растения / Д.В. Дубовик и др. Минск: Белорусская наука, 2020. 407 с.
2. Черная книга флоры Средней России (Чужеродные виды растений в экосистемах Средней России) / Ю.К. Виноградова, С.Р. Майоров, Л.В. Хорун. М.: ГЕОС, 2009. 494 с.
3. Richardson D.M., Pyšek P. Naturalization of introduced plants: ecological drivers of biogeographical patterns // New Phytologist. 2012. V. 196. P. 383-396.
4. Логинов В.Ф. Климатические условия Беларуси за период инструментальных наблюдений // Наука и инновации. 2016. № 9. С. 25–29.
5. Gusev A.P. The Invasion of Canadian Goldenrod (*Solidago canadensis* L.) into Anthropogenic Landscapes of Belarus // Russian Journal of Biological Invasions. 2018. Vol. 9. №1. P. 22–28.
6. Gusev A.P. Invasion of *Ambrosia artemisiifolia* L. into the Landscapes of the Southeastern Belarus // Russian Journal of Biological Invasions. 2019. Vol. 10. No. 2, P. 129–135.
7. Gusev A.P. *Ambrosia artemisiifolia* in an anthropogenic landscape of Gomel Polesye // Russian Journal of Ecology. 2019. Vol. 50. Issue 1. P. 93-96.
8. Gusev A.P. Invasive Plant Species as Inhibitors of Restorative Successions // Contemporary Problems of Ecology. 2019. Vol. 12. No. 3. P. 213–219.
9. Gusev A.P. Effect of *Solidago canadensis* on the Species Diversity of Phytocenoses in Belarusian Polesye // Russian Journal of Ecology. 2021. Vol. 52. No 4. P. 312-315.

10. The use of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to assess land degradation at multiple scales: a review of the current status, future trends, and practical considerations / G.T. Yengoh, D. Dent, L. Olsson, A.E. Tengberg, C.J. Tucker. – Lund University Centre for Sustainability Studies LUCSUS, 2014. – 80 p.

REMOTE DIAGNOSIS OF THE SPREAD OF ALIEN TRANSFORMER SPECIES

Gusev A.P.

FranciskSkorina Gomel State University, Gomel, 246003, Republic of Belarus

Abstract. The purpose of the research is to assess the distribution of alien transformer species based on satellite imagery. The object of research is ecosystems prone to invasion by alien transformer species. The possibilities of multi-spectral satellite imagery of Sentinel-2 satellites for identifying phytocenoses formed by alien transformer species in anthropogenic and natural-anthropogenic landscapes are considered.

Key words: alien transformer species, remote sensing, Sentinel-2, spectral diagram, vegetation indices

УДК 550.34

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ СРЕДУ

^{1,2} Ежова И.Т. nadezhka@geol.vsu.ru, ^{1,2} Надёжка Л.И. nadezhka@geol.vsu.ru, ² Ефременко М.А. 2880@mail.ru

¹ ФГБОУ ВО «Воронежский Государственный университет», Россия

² ФГБУН ФИЦ ЕГС РАН, г. Воронеж, Россия

Аннотация. В работе представлены результаты анализа временной динамики промышленных взрывов в многочисленных карьерах, функционирующих на территории Центрально-Черноземного экономического района. Показано, что поток сейсмической энергии, вызванный промышленными взрывами, распространяясь в неоднородной и нелинейной геологической среде, накапливается на неоднородностях создавая дополнительные деформации и напряжения. Сейсмические колебания, возникающие при взрывах значительно повышают фоновый уровень сейсмического шума. Показано, что инструментальные сейсмологические наблюдения позволяют оценить влияние горнодобывающей промышленности на сейсмическую ситуацию в регионе.

Ключевые слова: сейсмологические исследования, карьеры, промышленные взрывы, временная динамика, сейсмическая энергия, волновые формы, наведенная сейсмичность.

Введение

В настоящее время миф о асейсмичности платформенных территорий, в том числе и Восточно-Европейской платформы, ушёл в прошлое. Тектонические, геодинамические и геофизические исследования свидетельствуют, что в платформенной литосфере происходят активные процессы, которые приводят к землетрясениям. Изучение природной сейсмичности Восточно-Европейской платформы существенно затрудняется широким спектром сейсмических событий, источником которых является антропогенная деятельность человека, и главными в этом спектре являются сейсмические события, возникающие при проведении взрывных работ в карьерах, где добываются полезные ископаемые. Кроме того, сейсмические колебания, возникающие при производстве промышленных взрывов, могут стать, причиной сейсмореформационных процессов в литосфере Восточно-Европейской платформы [1], что может приводить к техногенной (наведенной) сейсмичности.

В настоящее время на территории Европейской России функционирует около 300 промышленных карьеров, в которых полезные ископаемые добываются открытым способом. Ежегодно при этом используется около 400 тыс. тонн взрывчатого вещества [2, 3]. Если считать, что только около 5% от полной энергии взрывов составляет сейсмическая энергия, то в Европейской части России её величина будет, порядка 10^{14} Дж [1]. В работе [2] приводится районирование территории по потоку сейсмической энергии, выделяющейся при производстве промышленных взрывов. По этому параметру Центрально-Черноземный экономический район (ЦЧЭР) (в геологическом плане – территория Воронежского кристаллического массива (ВКМ)), занимает второе место после Уральского промышленного региона [2]. Сейсмическая энергия – главный параметр любого сейсмического события. В работах [2, 3] в пределах ЦЧЭР по количеству сейсмической энергии выделяются два региона: Курско-Белгородский и Воронежско-Липецкий. В дальнейшем в работе будет выполняться анализ взрывных пород в целом по территории ЦЧЭР.

Территория ЦЧЭР – это промышленно развитый район, изобилующий крупными индустриальными предприятиями, объектами повышенного геологического риска, продуктопроводами различного назначения, транспортными железнодорожными и автомобильными артериями. Здесь функционируют две атомные станции: Нововоронежская и Курская, строятся новые блоки. Район характеризуется высокой плотностью населения. Вместе с тем на территории ЦЧЭР работает более 20 промышленных карьеров.

еров, в которых добываются полезные ископаемые открытым способом с помощью взрывных технологий. Потребление взрывчатого вещества ежегодно составляет 130 тыс. тонн, при этом поток выделившейся сейсмической энергии составит $1.3 \cdot 10^{13}$ Дж [3].

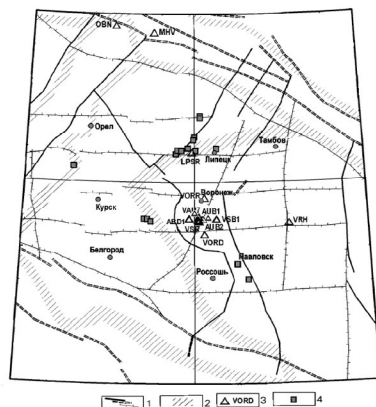
В связи с ускорением темпов урбанизации территории ЦЧЭР, строительство новых блоков АЭС, химических производств, расширением горнодобывающей промышленности, активной высотной застройки в крупных городских агломерациях и других антропогенных факторов проблема обеспечения сейсмической безопасности приобретает всё большую актуальность. Особую остроту эта проблема имеет для территории ЦЧЭР [2, 4, 5]. На характер природной сейсмичности накладываются техногенные воздействия, которые существенно изменяют её характер.

Для снижения рисков, связанных с техногенными воздействиями (промышленными взрывами) необходимы: контроль временной динамики производства взрывов, оценка сейсмической энергии, выделяющейся при взрывах, характер и интенсивность реакции геологической среды на воздействие промышленных взрывов на разных удалениях от источника. Это необходимо для выработки рекомендаций по рациональному и экологически чадящей добыче полезных ископаемых.

Ниже дан анализ результатов сейсмологического мониторинга промышленных взрывов за более чем 20 летний период.

Методика исследований

В настоящее время на территории Центрально-Черноземного экономического района создана крупнейшая сейсмическая сеть в Центральной России. На рис. 1 показано положение основных промышленных карьеров и сейсмических станций Воронежской сети. Минимальное расстояние от карьера до сейсмической станции отмечается для карьеров в Липецкой зоне: карьер «Хмелинец» расположен от сейсмической станции LPSR «Галичья гора» – 5.5 км. Максимальное удаление сейсмической станции LPSR от карьера – «Михайловский» (Волгоградская область) – 406 км.



*1 – разломы различного ранга; 2 – границы геоблоков;
3- сейсмические станции; 4 – промышленные карьеры*

Рисунок 1 – Пространственное положение сейсмических станций и карьеров

Сейсмические станции сети оснащены современным оборудованием, позволяющим регистрировать сейсмические сигналы в широком диапазоне частот. Организация сейсмических станций выполнена в местах с минимальным уровнем микросейсмического шума и антропогенной нагрузки. Для получения качественных данных инструментальных наблюдений постоянно осуществлялся контроль работы каждой из сейсмических станций, регулярно проводятся профилактические работы, сверки оборудования. Полученные экспериментальные данные обрабатывались и интерпретировались. Особое внимание уделялось разбраковке сейсмических событий по разработанной методике [2].

Обсуждение результатов

Важным фактором при изучении сейсмических воздействий, вызванных короткозамедленными промышленными взрывами, является частота производства взрывов. Как отмечалось выше, в разные годы количество взрывов в карьерах производится от 350 до 400 и выше. На рис. 2 представлено распределение количества промышленных взрывов, функционирующих на территории Центрально-Черноземного экономического района по годам.

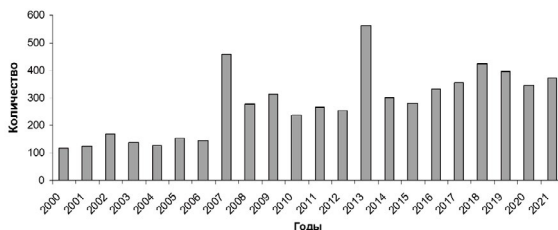


Рисунок 2 – Распределение количества промышленных взрывов по годам

С 2007 года наблюдается увеличение количества зарегистрированных взрывов в промышленных карьерах. На общем фоне увеличения количества взрывов отмечается два максимума: в 2007 г. – 457, в 2013 году – 561 взрыв. В среднем в месяц с 2019 года и по настоящее время регистрируется более 30 взрывов, т.е. ежедневно происходит хотя бы один взрыв.

На рис. 3 дана обобщенная диаграмма распределения взрывов по дням недели в течение 20 лет, а на рис. 4 в качестве примера показано распределение количества взрывов по дням недели в 2020 году.

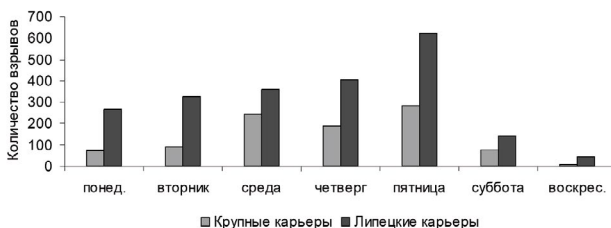


Рисунок 3 – Распределение промышленных взрывов в крупных карьерах и карьерах Липецкой зоны по дням недели

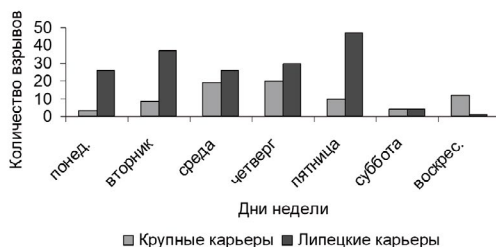


Рисунок 4 – Распределение количества промышленных взрывов в крупных карьерах и карьерах Липецкой зоны по дням недели за 2020 год

Как видно из рисунка, общий характер изменения количества взрывов по дням недели для карьеров Липецкой области в целом сохраняется в течение длительного промежутка времени. Отмечается увеличение количества взрывов к концу недели. Иногда взрывы производятся и в выходные: субботу, воскресенье. Что касается взрывов в крупных карьерах, то их динамика и количество в целом несколько меняется. Если в течение длительного времени максимальное количество взрывов происходило в пятницу, то в последние годы (рис. 4) максимальное количество взрывов производится в среду и четверг.

Таким образом, геологическая среда региона ежедневно подвергается сейсмическому воздействию, вызванного взрывами [6].

На рис. 5 представлена обобщенная за 10 лет диаграмма распределения взрывов по времени суток. Из диаграммы видно, что за достаточно продолжительное время производства взрывов в крупных карьерах практически не менялось. Как видно из рисунка после 11 часов (время UTC) в крупных карьерах взрывы не производятся. В небольших карьерах Липецкой области взрывы выполняются в течение всего рабочего дня (рис. 5). Безусловно, в каждом крупном карьере взрывные работы имеют индивидуальный график. В «Железнодорожном» и «Лебединском» карьерах более 80% взрывов производится в интервале 8-10 часов. В «Стойленском» карьере половина взрывов приходится на интервал 10-11 часов, а 97% - на 9-11 часов.

В «Павловском» карьере 87% взрывов отрабатываются с 8 до 11 часов. В карьере «Тихий Дон» взрывные работы производятся в течение всего рабочего времени.

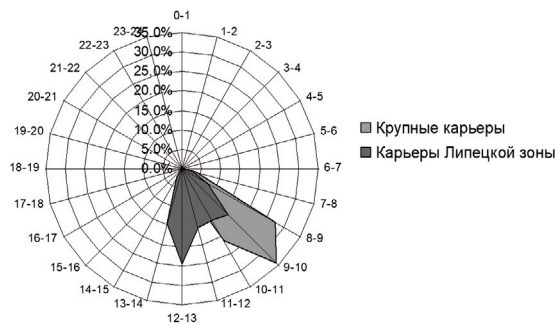


Рисунок 5 – Распределение количества промышленных взрывов в крупных карьерах (а) и карьерах Липецкой зоны (б) по времени суток (UTC)

Таким образом, время производства взрывов в крупных карьерах, практически постоянно, в течение многих лет, не смотря на некоторые индивидуальные особенности взрывной технологии в каждом крупном карь-

ере. В небольших карьерах какой-либо закономерности во времени производства взрывов не выявлено.

Кумулятивный сейсмический эффект короткозамедленных промышленных взрывов в крупных карьерах представляет собой сейсмические события, в основном, 7-10 энергетических классов, т.е. выделяется $10^7 - 10^{10}$ Дж сейсмической энергии. При производстве промышленных взрывов в небольших карьерах Липецкой области создаются сейсмические события, в основном, 2-6 энергетических классов. На рис. 6 в качестве примера приведено распределение сейсмических событий по энергетическим классам в 2021 г. Описанные выше закономерности хорошо видны на рисунке.

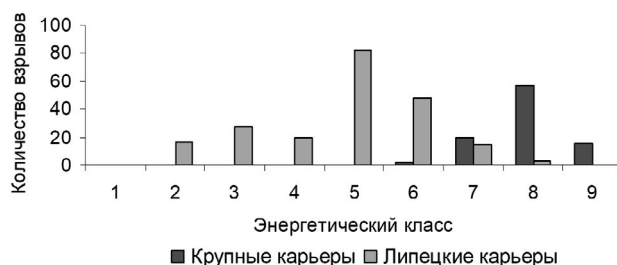


Рисунок 6 – Распределение промышленных взрывов в крупных карьерах и в Липецкой зоне по энергетическому классу за 2021 год

На рис. 7 показано распределение сейсмической энергии, вызванной промышленными взрывами за 22 года. На графике выделяется три пика в 2002, 2006 и 2010 году, обусловленные большим количеством взрывов 9-10 энергетических классов. В 2002 году сейсмическая энергия составляла $12.3 \cdot 10^{10}$ Дж, в 2006 – $13.6 \cdot 10^{10}$ Дж. С 2007 года наблюдается уменьшение количества взрывов большого энергетического класса, в связи с этим происходит уменьшение энергии.

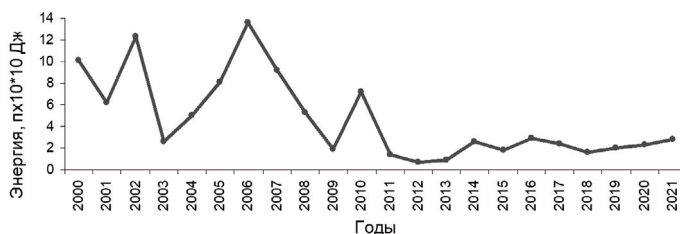


Рисунок 7 – Распределение количества выделившейся сейсмической энергии при производстве промышленных взрывов в карьерах по годам

Суммарное количество сейсмической энергии, выделившейся при взрывах в 2021 году, составило $2,83 \cdot 10^{10}$ Дж. Особенно негативное влияние на геологическую среду оказывают сближенные взрывы, которые производятся с небольшим интервалом времени.

Из сказанного следует, что ежегодно в течение последних 22 лет, на геологическую среду региона воздействует значительный поток сейсмической энергии. В некоторые годы при производстве промышленных взрывов выделяется относительно небольшое количество энергии 10^{10} Дж, в некоторые годы количество выделившейся энергии $1,36 \cdot 10^{11}$ Дж.

Такой поток сейсмической энергии, распространяясь в неоднородной и нелинейной геологической среде накапливается на различного рода неоднородностях, вызывая деформации и дополнительные напряжения, т.е. создается возможность наведенной сейсмичности [1].

Учитывая, что воздействия происходят регулярно, сейсмическая энергия постоянно накапливается, повышая вероятность техногенного землетрясения.

Ниже приводится краткий анализ реакции геологической среды на сейсмические воздействия, вызванные взрывами. Следует отметить, что волновое поле, возникающее при производстве промышленных взрывов в разных крупных карьерах имеет особенности. На рис. 8 представлены записи Z – компоненты волновых форм сейсмических событий, возникающих при производстве взрывов в разных крупных карьерах. Как видно из рисунка в структуре волнового поля сейсмических событий значительную роль играют поверхностные волны.

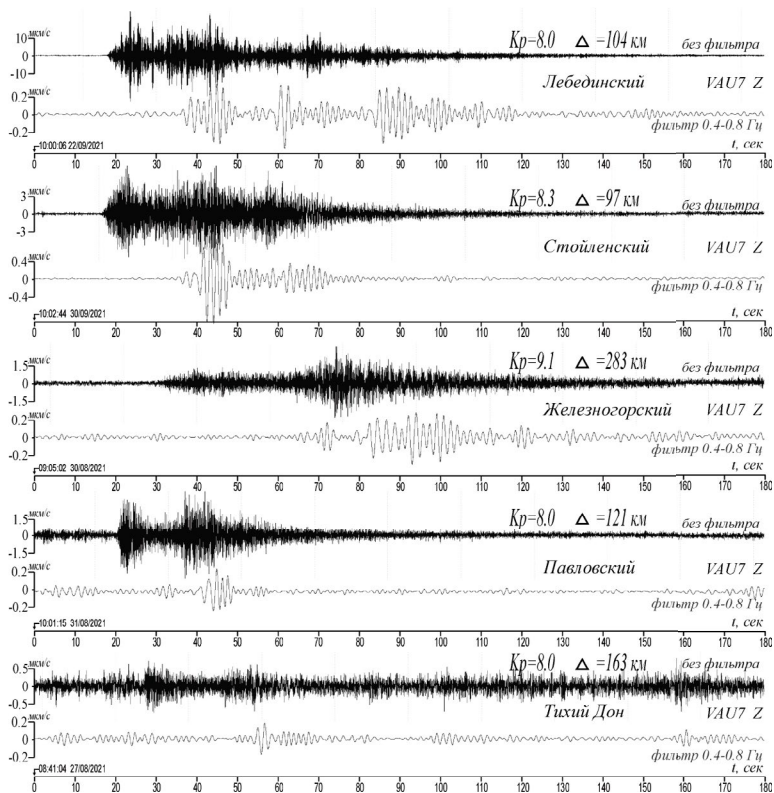


Рисунок 8 – Пример исходных и фильтрованных записей взрывов в разных карьерах, по данным сейсмической станции «Архангельское» (VAU7)

На примере записей 3^х компонент волнового поля сейсмического события, вызванного взрывом в карьере «Стойленский» показано, что наиболее интенсивными являются горизонтальные составляющие (рис. 9). Практически во всех диапазонах частот происходит увеличение их амплитуд волнового поля сейсмического события более чем на порядок по сравнению с фоновыми колебаниями.

Разложение волновой формы события на составляющие свидетельствует о том, что наиболее представительными в его структуре являются высокочастотные составляющие объемных волн.

27/02/2020 10:00:36 Kp=7.8

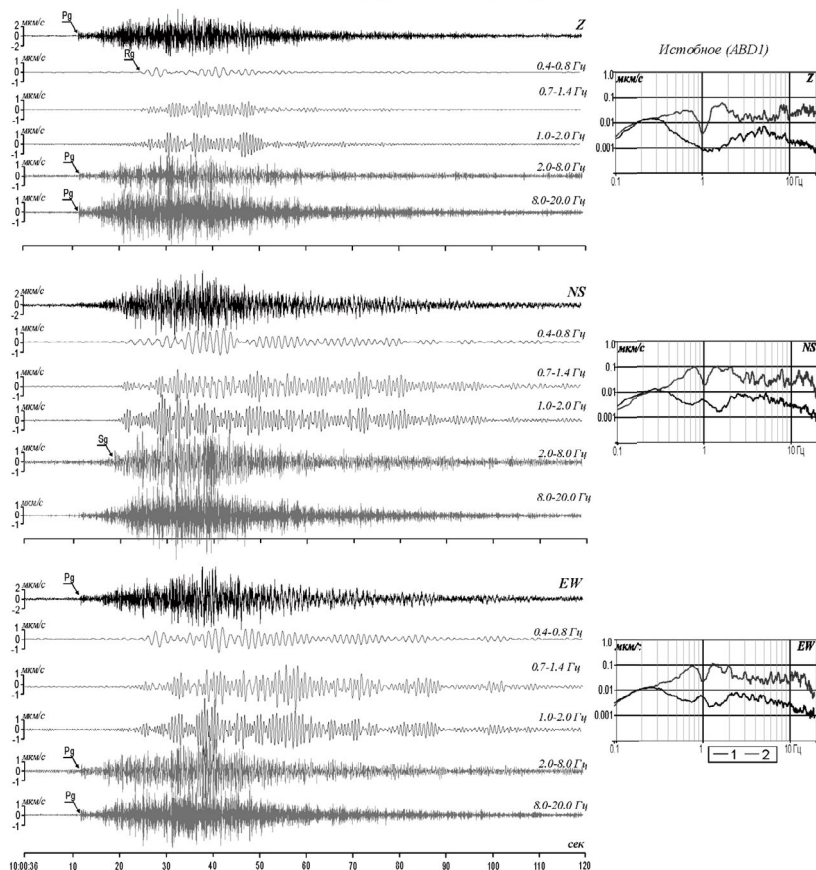


Рисунок 9 – Основные характеристики волнового поля, возбужденного промышленным взрывом в «Стойленском» карьере 27 февраля 2020 года по записям сейсмической станции «Источное», которая расположена от карьера на расстоянии 65 км

Следует отметить, что в результате воздействия сейсмических событий, возникающих при взрывах, значительно (на порядок и выше) увеличивается амплитуда фоновых колебаний.

Выше показано, что взрывы в крупных карьерах производятся примерно в одно время: с 9 до 11 часов (время UTC). В результате такого подхода не редко возникают ситуации, когда время между мощными взрывами в разных карьерах составляет всего несколько секунд (рис. 10).

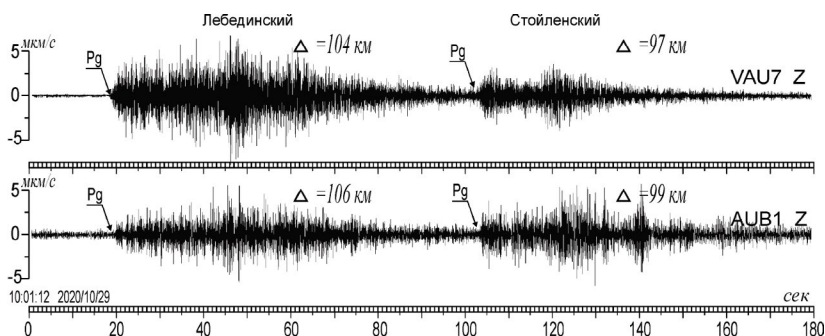


Рисунок 10 – Пример записи Z– компоненты волновых форм взрывов в карьере «Лебединский», который произошел 29/10/2020 г. 10:01:12.3 (51.26N; 37.62E; $K_p=7.5$) и взрыва в карьере «Стойленский», который произошел 29/10/2020 г 10:01:12.3 (51.26N; 37.62E; $K_p=7.4$)

На рисунке представлены записи в разных карьерах волнового поля сейсмических событий, вызванных взрывами, двумя станциями. Как видно из рисунка, в такой ситуации существенно увеличивается время воздействия на геологическую среду и интенсивность воздействия, что может оказывать отрицательное влияние на стабильность геологической среды.

Выводы

Приведенные выше результаты анализа динамики производства взрывов, их энергетических характеристик, а также степени влияния на геологическую среду выполнены на основе данных инструментальных сейсмологических наблюдений.

В результате исследований получены важные данные о характере и интенсивности сейсмических воздействий на земную кору Воронежского кристаллического массива, территория которого изобилует объектами повышенного риска и регион характеризуется высокой плотностью населения.

Показана возможность наведенной сейсмичности, которая может существенно осложнять природную сейсмичность региона. Особенно этот факт является значимым в сейсмически активных зонах, где может наблюдаться повышение уровня природной сейсмической активности.

Кроме того, сейсмические воздействия взрывов значительно повышают уровень фонового микросейсмического шума, что отрицательно может сказываться на безопасности экологически ответственных объектов, объектов жизнеобеспечения и здоровье человека [7].

Таким образом, инструментальные наблюдения на территории Центрально-Черноземного экономического района (в геологическом плане –

Воронежского кристаллического массива) позволили оценить влияние горнодобывающей промышленности на сейсмическую ситуацию региона.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ и БРФФИ в рамках научного проекта №20-55-00010.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адушкин В.В., Качарян Г.Г., Санина И.А. 2011. О вкладе взрывных работ в развитие сейсмодиформационных процессов в регионе. Доклады Академии Наук, 441 (1). С. 92-94.

2. Взрывы и землетрясения на территории Европейской части России / Под. ред. В.В. Адушкина и А.А. Маловичко. – М.: Изд-во ГЕОС, 2013. – 384 с.

3. Адушкин В.В. Сейсмичность взрывных работ на территории Европейской части России. – Физика земли. – 2013. – 32. – С. 110-130.

4 Семёнов А.Е., Надёжка Л.И., Сафронич И.Н., Ежова И.Т. Характер и интенсивность сейсмических воздействий горнопромышленных комплексов на литосферу Воронежского кристаллического массива // Структура, вещественный состав, свойства, современная геодинамика и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов. Материалы XXII Всероссийской с международным участием научно-практической Щукинской конференции. – Воронеж: изд-во ВГУ, 2020. – С.317-321.

5. Надёжка Л.И., Дубянский А.И., Кашубин С.Н., Скребнев А.В. Сейсмичность Воронежского кристаллического массива // Сборник научных трудов Национальной горной академии Украины. Геофизика. – Днепропетровск: РИК НГА Украины, 1999. – Т. 3. – № 6. – С. 73–75.

6. Надежка Л.И., Пивоваров С.П., Семенов А.Е. и др. Сейсмические эффекты крупномасштабных взрывов в Воронежском регионе и их геоэкологические следствия // Месторождения природного и техногенного сырья: Геология, геохимия, геохимические и геофизические методы поиска, экологическая геология. Материалы международной конференции. – Воронеж. – ВГУ, 2008. – С. 326-329.

7. Косинова И.И., Надежка Л.И., Семенов А.Е., Сафронич И.Н., Ежова И.Т., Силкин К.Ю., Пивоваров С.П. Критерии экологических оценок сейсмических воздействий, возникающих при производстве промышленных взрывов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2021. – № 1. – С. 82-93.

INSTRUMENTAL SEISMOLOGICAL OBSERVATIONS OF INDUSTRIAL EXPLOSIONS AS AN EFFECTIVE CONTROL OF SEISMIC IMPACTS ON THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT

^{1,2} I.T. Ezhova nadezhka@geol.vsu.ru, ^{1,2} L.I. Nadezhka nadezhka@geol.vsu.ru,

²M.A. Efremenko 2880@mail.ru

¹Voronezh State University, Voronezh, Russia

²Federal Research Center "Unified Geophysical Service of the RAS",
Voronezh, Russia

Annotation. The paper presents the results of the analysis of the time dynamics of industrial explosions in numerous quarries operating on the territory of the Central Chernozem Economic Region. It is shown that the flow of seismic energy caused by industrial explosions, spreading in an inhomogeneous and nonlinear geological environment, accumulates on inhomogeneities creating additional deformations and stresses. The seismic vibrations that occur during explosions significantly exceed the background level of seismic noise. It is shown that instrumental seismological observations make it possible to assess the impact of the mining industry on the seismology situation in the region.

Keywords: seismic monitoring, quarries, industrial explosions, wave forms, induced seismicity.

УДК 502/504.556

ЭКОЛОГО-ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД СТОЙЛЕНСКОГО ГОКА И ЗОНЫ ЕГО ВЛИЯНИЯ

Косинова И.И., Белозеров Д.А., Коснырева С.С., sofa_kosnyreva@icloud.com
ФГБОУ ВО «Воронежский Государственный Университет», г. Воронеж,
Россия

Аннотация. Статья демонстрирует влияние Стойленского ГОКа на подземные воды, находящиеся на его территории. Методика заключалась в отборе проб, проведении полевых, камеральных и химико-аналитических работ. Также была проведена санитарно - эпидемиологическая экспертиза лабораторных исследований. Количество отобранных проб составило 220. Анализировались скважины в зоне влияния хвостохранилища и в зоне влияния карьера. Водозабор состоит из пяти скважин, эксплуатирующих альб-сеноманский водоносный горизонт. В течении многих лет подземные воды в пределах участка водозабора относятся к сульфатно-гидрокарбонатному натриево-кальциевому типу. Для этих вод характерен сухой остаток в диапазоне от 471 до 507 мг/л, содержание ионов сульфатов в диапазоне от 133 до 145 мг/л, ионов хлоридов в диапазоне от 39,24 до 47,17 мг/л, а также минерализация в диапазоне от 564 до 621 мг/л.

Ключевые слова: экология, гидрогеохимия, характеристика, подземные, воды, ГОК, месторождение, влияние, скважины, КМА.

Горно-добывающая деятельность оказывает значимое влияние на компоненты природной среды, включая подземные воды. Это проявляется в значительном загрязнении водоносных горизонтов. Изучаемый район в административном отношении размещен на северо-западе Белгородской области в пределах Старооскольского района. Важным населенным пунктом в районе является город Старый Оскол, на территории которого рождает около двухсот пятьдесят тыс. человек. В Старооскольском районе развито сельское хозяйство, а также присутствуют предприятия по переработке данной продукции.

В геолого-структурном отношении район располагается в сводовой части Воронежской антиклизы – крупной положительной структуры Русской платформы и приурочен к юго-западному склону Воронежского кристаллического массива и северо-восточной окраине Днепровско-Донецкой впадины.

Стойленское месторождение, вскрываемое карьером, на котором осушению подвергается вся толща пород, залегающая над рабочим пластом, расположено в 2 км южнее протекающего почти в широтном направлении

р. Оскольца, правобережного притока р. Оскола.

Территория исследований расположена в пределах свода Воронежской антиклизы, которая граничит с северо-востока с Московской синеклизой, с юга и юго-запада - с Днепровско-Донецкой впадиной. Воронежская антиклизга сложена дислоцированными осадочно-метаморфическими породами архея и нижнего протерозоя, прорванными интрузиями различного состава, образующими кристаллический фундамент. К осадочному чехлу относятся неметаморфизованные горизонтально залегающие породы палеозойской, мезозойской и кайнозойской эратемы.

На территории Белгородской области проявляются весьма разнообразные комплекс современные геоморфологические процессы: выветривания, гравитационные, эрозионные, карстовые, суффозионные, эоловые и абразионные, которые обладают определенной степенью динамичности и разрушительной способностью[5].

Изучаемый район в гидрогеологическом отношении относится к северо-восточной окраине Днепровско-Донецкого артезианского бассейна, примыкающего к юго-западной склоновой части Воронежского кристаллического массива. Подземные воды связаны с отложениями всех систем осадочной толщи и к зоне трещиноватости кристаллического фундамента. Целью настоящей работы являлось эколого-гидрогеохимическая характеристика подземных вод территории Стойленского ГОКа. В соответствии с циркуляцией и направлению водовмещающих пород сформированы пла-

ство-поровые и трещинные воды общей мощностью обводненной зоны в диапазоне от 120 до 150 м. По расположению вод выделяются подземные воды напорные и безнапорные. По минерализации подземные воды, в подавляющем большинстве, относятся к пресным, по химическому составу по большей части гидрокарбонатно-кальциевые или магниевые-кальциевые.

Водонепроницаемые породы обладают невыдержанным по мощности распространением. На изучаемой территории выделены два водоносных комплекса: верхний и нижний, разделенные водоупорной толщей юрских глин. К верхнему комплексу относятся современный аллювиальный и средне-верхнечетвертичный водоносные горизонты, харьковско-полтавский, турон-коньякский (мело-мергельный), альб-сеноманский и неоком-аптский водоносные горизонты. Нижний комплекс объединяет юрский водоносный комплекс и архей-протерозойский (руднокристаллический) водоносный горизонт[5].

Методы исследований: полевые и лабораторные исследования, аналитические расчеты, моделирование. Гидродинамический режим подземных вод контролировался с частотой один раз в месяц. Полученные данные после каждой серии замеров подвергались первичной обработке, заключающейся в пересчете глубин в абсолютные отметки уровня воды. Контроль изменения гидрохимического состояния подземных вод осуществлялся по скважинам режимной сети и скважинам водозабора на территории котельной.

Отбор проб подземных, поверхностных, карьерных и шахтных вод, их хранение и транспортировка осуществлялись на основании [1-3]. Химические анализы проб воды выполнялись в химико-аналитической лаборатории с применением атомно-абсорбционного анализатора «СПЕКТР-5-3», анализатора жидкости «Флюорат-02-3М», фотометров, концентратора и другого оборудования.

Выявлено, что подземные воды альб-сеноманского водоносного горизонта можно отнести к пресным, исключая участок расположения скважины 20^г. Они характеризуются сухим остатком 322 (скв. 20^{мв}) – 647 мг/л (скв. 1^н), содержанием ионов сульфатов 14 (скв. 6^н) – 180 мг/л (скв. 3 и 1^н), ионов хлоридов 7,20 (скв. 5^г) – 60,12 мг/л (скв. 3^г), минерализацией 456 (скв. 20^{мв}) – 845 мг/л (скв. 1^н).

На участке расположения скважины 20^г вода характеризовалась сульфатно-гидрокарбонатным кальциево-натриевым составом. Вода из скважины в значительной мере отличается по химическому составу от пластовой, характеризуется значительным превышением ПДК по жесткости (14,22-15,42 °Ж), сухому остатку (1,21-1,95 г/л), содержанию аммония (до 57 мг/л), кремния (11,46-12,84 мг/л), железа общего (до 1,05 мг/л) и окисляемости перманганатной (63-89 мг/л).

Направление подземных вод ориентировано на реку Осколец, то есть в восточном направлении. Ниже основных источников загрязнения, таких как отвалы Лебединского ГОКа и самого Стойленского карьера, наблюдается повышенная минерализация.

По показателю минерализации, зафиксированного в фоновой скважине 3^Г, минерализация которой равна 0,51 г/л, нами выделены 3 группы скважин:

-первая группа скважин, находящаяся в районе отвалов ЛГОКа и Стойленского карьера, где наблюдается максимальная минерализация (от 0,71 г/л в скважине №19^Г до 2,49 г/л в скважине №20^Г);

-вторая группа скважин, размещенных в зоне хвостохранилища СГОКа, где минерализация постепенно снижается (от 0,85 г/л в скважине №5^Г до 0,52 г/л в скважине №5^Н);

- третья группа скважин, расположенных на удалении от 2 до 4 км от основных источников загрязнения, отличается минимальной минерализацией (от 0,49 г/л в скважине 10^Н до 0,60 г/л в скважине 9^Н).

На основании эколого-гидрогеологического мониторинга территории нами представлена гидрохимическая карта подземных вод альб-сеноманского водоносного комплекса (рисунок 1).

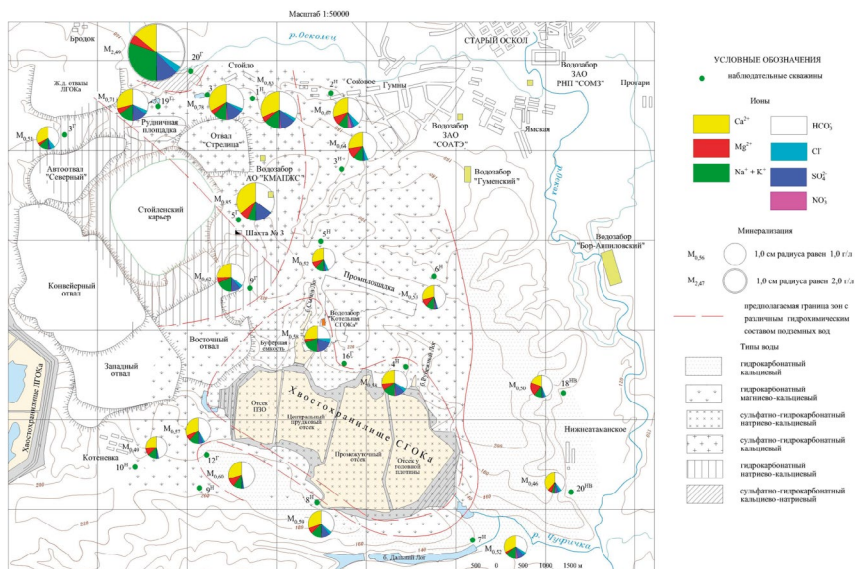


Рисунок 1 – Гидрохимическая карта альб-сеноманского водоносного комплекса по состоянию на декабрь 2020 г.

Данная карта демонстрирует очень пеструю картину эколого-гидрогеохимической ситуации в пределах Старооскольского горнопромышленного комплекса. Так выше по потоку подземных вод относительно Стойленского карьера воды имеет гидрокарбонатно-натриево-кальциевый (скв.3^г). Районы рудничной площадки и отвала Стрелица отличаются привнесением в подземные воды альб-сеноманского горизонта сульфатов. Тип воды меняется на сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевый. Данный тип подземных вод наиболее широко представлен в исследуемом районе. Привнесение сульфатов связано с привнесением в водоносный комплекс минералов и соединений рудной толщи. Район хвостохранилища Стойленского ГОКа отличается наличием сульфатно-гидрокарбонатный кальциево-натриевый состав. Проникновение повышенных концентраций сульфатов и натрия в подземные воды происходит в процессе инфильтрации сточных вод хвостохранилища. Следует подчеркнуть, что сброс осветленных вод осуществляется в р.Чуфичка, что оказывает негативное воздействие на водные экосистемы реки. Река Чуфичка впадает в р.Оскол, имеющую региональное значение и в значительной степени трансформированную результатами горнопромышленной деятельности.

В качестве основных выводов по проделанной работе следует отметить:

1. Горнопромышленная деятельность в пределах Старооскольского горнопромышленного комплекса привела к коренной перестройке эколого-гидрогеохимической ситуации. Радиус воздействия основных источников загрязнения достигает 5 км. Усложнение типа воды, повышение ее минерализации является результатом высокого уровня техногенного воздействия.

2. Влияние сбросов загрязненных вод в поверхностные водотоки фиксируется, как в деградации самих рек, так и в ухудшении популяции водных экосистем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 17.1.5.04-81.Охрана природы. Гидросфера Приборы и устройства для отбора, первичной обработки и хранения проб природных вод.
2. ГОСТ 31861-2012. Межгосударственный стандарт. Вода. Общие требования к отбору проб.
3. РД 52.24.353-2012 Отбор проб поверхностных вод суши и сточных вод.

4. Образцов И.Н., Доброумов Б.М., Успенский С.К. и др. Научно-технический отчет по теме: "Комплексные гидрологические исследования по оценке естественных водных ресурсов на территории КМА" за 1962-65 г.г. Л., 1965, ТГФ, 26452.

5. Хрисанов В.А. Современные геоморфологические процессы на территории Белгородской области и их антропогенная активизация.

ECOLOGICAL AND HYDROGEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF GROUNDWATER AT STOILENSKY GOK AND ITS ZONE OF INFLUENCE

*I.I.Kosinova, D.A.Belozarov, S.S. Kostyreva, sofa_kosnyreva@icloud.com
FGBOU Voronezh State University, Voronezh, Russia*

Annotation. The article assumes the influence of Stoilensky GOK on groundwater located on its territory. The technique consisted in sampling, observed field, cameral and chemical-analytical work. A sanitary and epidemiological examination of laboratory studies was also carried out. The number of identified samples was 220. Wells were analyzed in the zone of influence of the tailing dump and in the zone of influence of the quarry. The water intake consists of five wells equipped for the Albion-Cenomanian aquifer. For a number of years, groundwater within the water intake area has been of the sulfate-bicarbonate sodium-calcium type, characterized by a dry residue of 471-507 mg/l, a content of sulfate ions of 133-145 mg/l, chloride ions of 39.24-47.17 mg /l, mineralization 564-621 mg/l.

Key words: ecology, hydrogeochemistry, characteristics, underground waters, GOK, deposit, influence, wells, KMA.

УДК 61

МЕДИКО-ДЕМОГРАФИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ТЕХНОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭКОСИСТЕМ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ В РАЙОНАХ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА

Куrolan C.A.¹, Степкин Ю.И.², Прожорина Т.И.¹, Клепиков О.В.^{1,2}

¹Воронежский государственный университет, г. Воронеж

²Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области, г.Воронеж

Аннотация. Обоснованы медико-демографические критерии техногенной трансформации экосистем в районах размещения объектов горнодобывающего производства и на примере двух интенсивно осваиваемых горнопромышленных районов Воронежской области - Павловского и Острогжского - проведена оценка риска для здоровья населения, связанного с

техногенным загрязнением среды обитания. Установлены приоритетные загрязняющие вещества, оказывающие неблагоприятное воздействие на здоровье населения. Рассчитаны уровни потенциальных экологических рисков, обуславливающих развитие различных патологических эффектов у населения, проживающего в зоне воздействия предприятий. Отмечена ведущая роль патологии органов дыхания в формировании общественного здоровья территорий интенсивного техногенного воздействия, связанного с горнодобывающим производством.

Ключевые слова: горнопромышленные регионы, медико-демографические критерии, загрязнение окружающей среды, экологические риски, здоровье населения.

В районах размещения крупных горнодобывающих предприятий значительно трансформируются многие экосистемные функции геосфер и критерии состояния общественного здоровья. При этом объекты горнодобывающего производства можно рассматривать как объекты повышенного экологического риска, негативно влияющие на здоровье населения, а опасными считаются предприятия, в выбросах (сбросах) которых постоянно наблюдается трехкратное превышение допустимого содержания особо опасных для здоровья человека веществ (1 класс опасности + выбросы канцерогенных веществ) по сравнению с действующими гигиеническими нормативами [1].

Для оценки риска здоровью населения крупных горнопромышленных районов и территорий, непосредственно находящихся в зоне влияния объектов горнопромышленного производства, используются подходы к оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду, включающие методы оценки канцерогенного, неканцерогенного рисков и рисков комбинированных эффектов в соответствии с «Руководством по оценке риска при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» (2004) [4], а также методы стандартного вероятностно-статистического анализа. Расчетно-аналитические методики обычно базируются на анализе фондовых данных лабораторных центров Управления Росприроднадзора в регионах размещения объектов горнопромышленного производства.

Анализ региональных данных по состоянию здоровья населения в районах с различной комфортностью среды обитания позволяет обосновать закономерные различия медико-демографических критериев, в том числе отдельно для взрослого и детского населения, которые, на наш взгляд, можно дифференцировать следующим образом (табл. 1, 2).

Таблица 1 – Медико-демографические критерии

Уровни комфортности среды обитания /условия /*	Смертность (на 1000 всего населения)			Заболеваемость взрослого населения (на 1000 населения ≥ 18 лет)			
	общая	младенческая	онкологическая	общая	новооб-разования	болезни крови и крове-творных органов	ре-про-дук-тив-ная пато-логия
КОМ-ФОРТ-НЫЕ И ПРЕ-КОМ-ФОРТ-НЫЕ	< 17,0	< 8,0	< 220	< 900	< 25	< 1,0	< 8,0
ГИПО-КОМ-ФОРТ-НЫЕ	17,0-22,9	8,0-13,0	220-270	900-1299	25-39	1,0-5,0	8,0-17,0
ДИС-КОМ-ФОРТ-НЫЕ	23,0-28,9	13,0-18,0	270-320	1300-1600	40-60	5,0-15,0	17,0-29,0
ЭКСТРЕ-МАЛЬ-НЫЕ	> 29,0	> 18,0	> 320	> 1600	> 60	> 16,0	> 30,0

* Комфортность окружающей среды определяется по совокупности природных факторов риска, влияющих на жизнедеятельность людей: от практически не ограничивающих или благоприятствующих условий (комфортные и прекомфортные условия) до крайне неблагоприятных и опасных условий, когда без специальной защиты от внешних факторов невозможна жизнедеятельность (экстремальные условия).

Таблица 2 – Медико-демографические критерии детского населения /0-14 лет/

Уровни комфортности среды обитания /условия /*	Заболеваемость детского населения (на 1000 населения)				Физическое развитие детей**
	общая	новообразова-ния	болезни крови	врожденные аномалии развития	
КОМФОРТ-НЫЕ И ПРЕКОМ-ФОРТНЫЕ	<1100,0	< 1,5	< 15,0	< 12,0	< 10%
ГИПОКОМ-ФОРТНЫЕ	1100,0-1799,0	1,5-8,0	15,0-29,9	12,0-27,9	10-29%

ДИСКОМ- ФОРТНЫЕ	1800-2500	8,0-15,0	30,0-44,9	28,0-43,9	30-50%
ЭКСТРЕ- МАЛЬНЫЕ	> 2500,0	> 15,0	> 45,0	> 44,0	> 50%

* См. примечание к табл. 1.

** Увеличение доли детей с отклонениями физического развития при их оценке по региональному стандарту.

В качестве интегральных критериев экологического риска для здоровья населения наиболее приемлемо рассматривать уровни экологической опасности в соответствии с нормативным документом [4] (табл. 3).

Таблица 3 – Интегральные критерии экологических рисков для здоровья населения

Уровень комфортности окружающей среды /условия /*	Критерии риска возникновения токсических эффектов /рисков для здоровья при ингаляционном воздействии/	
	канцерогенные риски по химическим канцерогенно- опасным загрязняющим веществам (CR)	неканцерогенные риски по хи- мическим веществам с некан- церогенным (общетоксиче- ским) эффектом воздействия (HQ)
КОМФОРТНЫЕ И ПРЕКОМФОРТНЫЕ	$< 1 \cdot 10^{-6}$	$< 0,5$
ГИПОКОМФОРТНЫЕ	$1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-4}$	0,5 - 1,0
ДИСКОМФОРТНЫЕ	$1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-3}$	1,0 - 1,5
ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ	$> 1 \cdot 10^{-3}$	$> 1,5$

* См. примечание к табл. 1.

При этом в соответствии с нормативным документом [4] *канцерогенный риск (CR)* в течение жизни определяется по формуле (1):

$$CR = ADD \cdot SF \quad (1)$$

где *ADD* - средняя суточная доза в течение жизни, мг/(кг*день); *SF* - фактор канцерогенного потенциала.

Неканцерогенный риск при ингаляционном пути воздействия количественно оценивается на основе расчета коэффициента опасности (*HQ*) по формуле (2):

$$HQ = C_i / RfC \quad (2)$$

где *C_i* - средняя концентрация (мг/м³); *RfC* - референтная (безопасная) концентрация, (мг/м³).

В соответствии с Руководством по оценке риска [4] при оценке индивидуального риска для здоровья населения ориентируются на систему критериев приемлемости (безопасности). Они различаются для показателей канцерогенного и неканцерогенного рисков. Так, канцерогенный риск (*CR*), равный или меньший $1 \cdot 10^{-6}$, соответствует 1 дополнительному случаю онкологического заболевания или смерти на 1 млн. экспонированных

лиц и характеризуется как *риск допустимый, не вызывающий беспокойства*. Величина риска, более $1 * 10^{-6}$, но менее $1 * 10^{-4}$, характеризуется как *предельно допустимый риск, вызывающий беспокойство*. Риск, более $1 * 10^{-4}$, но менее $1 * 10^{-3}$, считается *опасным*, требующим профилактических мероприятий, а риск, равный или более $1 * 10^{-3}$, неприемлем для населения и профессиональных групп и требует экстренной профилактики (*чрезвычайно опасный, недопустимый риск*).

Неканцерогенный риск (**HQ**) количественно оценивается на основе расчета коэффициента опасности с учетом следующей шкалы: если величина риска $HQ < 0,8$, то риск считается *допустимым* ($< 0,5 =$ *целевой* риск), *не вызывающим беспокойства*. Если величина риска HQ составляет от 0,8 до 1,0 – риск считают *предельно допустимым, вызывающим беспокойство*. Если $HQ > 1$ – то риск считают *опасным*, требующим профилактики или устранения контакта населения с опасным фактором.

Указанные медико-демографические показатели и уровни экологических рисков в районах размещения крупных горнопромышленных объектов могут служить базовыми критериями оценки состояния среды обитания и общественного здоровья в системе «геологическая среда - источники техногенного воздействия - общественное здоровье».

В этой связи особенно актуальны региональные исследования, направленные на выяснение степени опасности для населения воздействий, связанных с горнотехническим освоением территории. Нами проведена оценка риска для здоровья населения, проживающего в горнодобывающих регионах, на примере двух муниципальных районов Воронежской области с интенсивной горнопромышленной разработкой. К этим районам отнесены Павловский муниципальный район, где находится гранитный карьер и осуществляется добыча гранитного щебня, а также Острогожский район с интенсивной добычей природного мела. В исследовании использованы фондовые материалы ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области».

Целью первого этапа исследования являлась оценка уровня воздействия техногенных факторов (загрязнения атмосферного воздуха, питьевой воды и почвы) на здоровье населения, проживающего вблизи мест добычи и производства гранитного щебня на примере ОАО «Павловскгранит». Проанализирован объем и структура выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от производств ОАО «Павловскгранит», соблюдение режима санитарно-защитной зоны по факторам аэротехногенного загрязнения.

Основной деятельностью предприятия ОАО «Павловскгранит» является выпуск гранитного щебня различных фракций. Производительность ОАО «Павловскгранит» составляет 8 млн. тонн щебня в год. ОАО «Павловскгранит» находится в промзоне г. Павловска Павловского района Во-

ронешской области. Предприятие располагается к юго-западу от г. Павловска на расстоянии около 11 км на 4 производственных площадках: площадка №1 - дробильно-сортировочный завод (ДСЗ) и вспомогательные подразделения; площадка №2 - карьер, отвал №1 и отвал №2 (ст. Породная); площадка №3 – очистные сооружения с котельной; площадка №4 – цех по производству гранэмита (эмульсионных взрывчатых веществ). Площадки расположены относительно друг друга на расстоянии: площадка №1 - на расстоянии 1,2 км от площадки №2, около 7 км от площадки №3, около 4 км – от площадки №4 [2].

Ближайшие населенные пункты от площадок предприятия расположены следующим образом: относительно площадки №1 – в 650 м к востоку расположено с. Преображенка, а в 700 м к северо-востоку - с. Гаврильские сады; относительно площадки №2 – в 600 м к северо-востоку находится с. Шкурлат; относительно площадки №3 – в 700 м в восточном направлении размещается жилая зона Плодосовхоза, а в 3000 м с северо-востока находится жилая зона микрорайона Гранитный; площадка №4 расположена в поле на расстоянии около 4 км от площадки №1.

Технологическая схема предприятия следующая: сначала в карьере проводятся вскрышные работы, взрывные работы, в карьере и отвале - выемочно-погрузочные работы; затем на дробильно-сортировочном заводе осуществляется дробление гранита на щебень и сортировка по фракциям, складирование и отгрузка готовой продукции. Горная масса из карьера доставляется на дробильно-сортировочный завод железнодорожным транспортом. Очистные сооружения предназначены для механической и биологической очистки сточных вод.

Валовый выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух на существующее положение составляет 1881,0 т/год. По данным инвентаризации выбросов на предприятии, в атмосферный воздух поступает 61 загрязняющее вещество. Приоритетными веществами по объему выбросов являются пыль неорганическая с содержанием SiO_2 70-20% (1381,1 тонн/год), что в структуре выбросов составляет 73,4%, диоксид серы (184,1 т/год, что составляет 9,8%), оксид углерода (114,3 т/год, что составляет 6,1%). Анализ результатов расчетов приземных концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, проведенный с учетом максимальной мощности предприятия и на перспективу, показал, что максимальные приземные концентрации веществ составляют с учетом фоновых [3: в летний период для площадок №№ 1, 2, 4: на границе расчетной санитарно-защитной зоны (СЗЗ) – по диоксиду азота до 0,49 ПДК; по оксиду углерода – до 0,77 ПДК; по пыли неорганической - до 0,89 ПДК; по группам суммации: «азота диоксид + серы диоксид» – до 0,52 ПДК, «серы диоксид + аммиак + азота оксид + азота диоксид + серная кислота» – до 0,30 ПДК. В зимний период ситуация принципиально не меняется, максимальные

приземные концентрации составляют: по диоксиду азота на границе расчетной СЗЗ – до 0,48 ПДК; по оксиду углерода – до 0,76 ПДК; по группам суммации: «азота диоксид + серы диоксид» – до 0,53 ПДК, «серы диоксид + аммиак + азота оксид + азота диоксид + серная кислота» - до 0,31 ПДК. Для прочих веществ, выбрасываемых в воздушный бассейн, приземные концентрации на границе СЗЗ невелики и достигают не более 0,1 ПДК.

Производство ОАО «Павловскгранит» помимо химического воздействия является источником физического воздействия на окружающую среду - шума. На основании анализа уровней шума на селитебной территории установлено, что ближайшие селитебные территории находятся вне зоны повышенного шумового воздействия.

Установлено, что в атмосферный воздух от 134 источников загрязнения производств ОАО «Павловскгранит» поступает 61 загрязняющее вещество. Основной вклад в общий объем выбросов (1881,0 т/год) вносят пыль неорганическая с содержанием SiO_2 70-20% - 73,4%, диоксид серы – 9,8%, оксид углерода – 114,3 т/год. Ведущим производственным процессом, вносящим существенный вклад в объем выбросов, являются взрывные работы в карьерах при добыче гранитного щебня. Вместе с тем удаленность промышленных площадок от территории жилой застройки и наличие санитарно-защитной зоны свидетельствуют о допустимости воздействия на население концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и шумового фактора на границе территории ближайшей жилой застройки [3].

Нами рассчитаны канцерогенные и неканцерогенные риски для здоровья населения г. Павловска, связанные с загрязнением воздушного бассейна вследствие деятельности горнопромышленного комплекса ОАО "Павловскгранит". С учетом критериев определения приоритетности (канцерогены; вещества 1 и 2 класса опасности и др.) был составлен предварительный список веществ для расчета рисков, в который из 62 веществ вошли 25, а именно: пыль неорганическая (70-20% SiO_2), пыль древесная, стирол, этилбензол, керосин, акрилонитрил, диизоцианатметилбензол, углеводороды предельные, взвешенные вещества, мазутная зола электростанций, 1,3 бутadiен, бензол, бенз(а)пирен, (хлорметил) оксиран (эпихлоргидрин), оксид железа, марганец и его соединения, оксид меди, свинец и его соединения, шестивалентный хром, диоксид азота, оксид азота, сажа, диоксид серы, оксид углерода, газообразные фториды.

Анализ токсикологических характеристик 25 химических веществ-загрязнителей атмосферы, выбранных для дальнейшего исследования, показал, что канцерогенным действием обладают 11 веществ [4], среди них бенз(а)пирен, бензол, сажа, хром шестивалентный (вещества 1 класса опасности с доказанной канцерогенностью для человека); 1,3 –бутadiен, свинец, толуолдиизоцианат, эпихлоргидрин (вещества 2А класса, т.е. к ве-

роятные канцерогены для человека); акрилонитрил, этилбензол, стирол (вещества 2В класса, т.е. возможные канцерогены для человека).

В перечень приоритетных загрязняющих веществ, для расчета неканцерогенного риска включены 18 загрязнителей. Результаты расчетов неканцерогенных рисков, способных провоцировать развитие рака в результате попадания в организм загрязняющих веществ ингаляционным путем, показали, что приоритетные поллютанты, загрязняющие атмосферу г. Павловска, оказывают наибольшее воздействие на органы дыхания (12 веществ) и центральную нервную систему (4 вещества). Кроме того, присутствие перечисленных веществ в атмосферном воздухе оказывает влияние на такие важные системы организма как: сердечно-сосудистая, иммунная, нервная, кроветворная и репродуктивная. Возможны заболевания почек, печени, зрительных органов, а также случаи преждевременной смертности населения.

В 594 точках влияния селитебной зоны от площадок №№ 1, 2, 4 были определены среднегодовые концентрации каждого приоритетного вещества и в 185 точках воздействия селитебной зоны от площадки № 3. По каждому веществу из 25 загрязняющих веществ, для жилой застройки, находящейся под их воздействием, выбраны минимальные, максимальные концентрации. Установлено, что расчетные концентрации загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух, ниже предельных гигиенических нормативов.

Уровни индивидуального канцерогенного риска в контрольных точках в зоне влияния предприятия - в жилой зоне с. Преображенка, с. Гаврильские сады, с. Шкурлат составляют менее $1 \cdot 10^{-6}$ и соответствуют значениям от воздействия: сажи – $8,7 \cdot 10^{-8}$ – $2,5 \cdot 10^{-7}$, хрома шестивалентного – $2,6 \cdot 10^{-8}$ – $1,04 \cdot 10^{-7}$, бензола – $4,0 \cdot 10^{-10}$ – $2,7 \cdot 10^{-8}$, акрилонитрила – $3,4 \cdot 10^{-11}$ – $3,4 \cdot 10^{-10}$, бенз(а)пирена – $6,7 \cdot 10^{-11}$ – $3,4 \cdot 10^{-10}$, свинца – $6,2 \cdot 10^{-11}$ – $5,2 \cdot 10^{-10}$, стирола – $4,4 \cdot 10^{-12}$ – $1,0 \cdot 10^{-10}$, эпихлоргидрина – $1,0 \cdot 10^{-11}$ – $8,5 \cdot 10^{-11}$, этилбензола – $1,5 \cdot 10^{-12}$ – $9,7 \cdot 10^{-11}$, толуолдиизоцианата – $8,3 \cdot 10^{-12}$ – $8,3 \cdot 10^{-11}$, бута-1,3-диена $7,5 \cdot 10^{-12}$ – $7,4 \cdot 10^{-11}$. Результаты индивидуальных рисков составляют величину $\leq 1 \cdot 10^{-6}$, что в соответствии с классификационной шкалой позволяет отнести их к первому диапазону, в котором полученные риски оцениваются как пренебрежимо малые, не отличающиеся от повседневных рисков.

В районе Плодосовхоза индивидуальные канцерогенные риски составят: от воздействия сажи: $1,5 \cdot 10^{-7}$ – $2,0 \cdot 10^{-7}$, бенз(а)пирена – $1,8 \cdot 10^{-10}$ – $2,4 \cdot 10^{-10}$, что также соответствует первому диапазону и характеризуются как пренебрежимо малые риски, не требующие специфической профилактики.

На основе расчета коэффициентов опасности была проведена оценка риска неканцерогенных эффектов. Ранжирование загрязняющих веществ

ОАО «Павловскгранит» по величине средних значений коэффициентов опасности в зоне влияния площадок №№ 1, 2, 4 показало, что первое ранговое место занимает пыль неорганическая (70-20% SiO₂), величина неканцерогенного риска от воздействия которой соответствует 0,05; на 2 месте находится серы диоксид (HQ средний = 0,0288); на 3 месте - азота диоксид (HQ средний=0,018); а на 4 месте – марганец и его соединения (HQ средний = 0,012).

Для зоны влияния площадки №3 на первом ранговом месте находится пыль неорганическая (70-20% SiO₂) /HQ средний = 0,0018/; на втором - серы диоксид (HQ средний = 0,00098).

Средние значения коэффициентов опасности всех веществ ниже допустимого уровня - «единицы» и менее 0,1.

Анализ максимальных значений рассчитанных коэффициентов опасности в жилой зоне, находящейся в зоне влияния промплощадок №№ 1, 2, 4 показал, что от воздействия пыли неорганической (70-20% SiO₂) величина неканцерогенного риска соответствует 0,2; для остальных 17 загрязняющих веществ значения ниже допустимого уровня - «1» и менее 0,1. Неканцерогенный риск от всех 9 приоритетных загрязнителей в жилой застройке в зоне влияния промплощадки № 3 составляет < 0,1.

Под воздействием выбросов от промышленных площадок №№ 1, 2, 4, исследуемые загрязняющие вещества оказывают влияние в жилой зоне: на органы дыхания (12 веществ), центральную нервную и кроветворную систему (по 4 вещества); процессы развития, системные нарушения (по 3 вещества); почки, печень, приводят к преждевременной смертности (по 2 вещества).

В зоне влияния промплощадки № 3 загрязняющие вещества воздействуют на органы дыхания (8 веществ), кровь (3 вещества), центральную нервную систему (2 вещества).

В зоне влияния промплощадок №№ 1, 2, 4 при существующем положении и на перспективу максимальные суммарные индексы опасности (HI max) при воздействии на органы дыхания составляют 0,34. Суммарные неканцерогенные риски при воздействии на кроветворную систему, печень, почки, центральную нервную систему, процессы развития, преждевременную смертность, системные нарушения составляют менее 0,1, что опасений не вызывает.

Максимальные суммарные индексы опасности (HI max) в жилой зоне, находящейся в зоне влияния промплощадки №3, при воздействии приоритетных загрязняющих веществ на центральную нервную систему, кроветворную систему, органы дыхания < 0,1. Данные уровни риска можно оценить, как допустимые.

Помимо загрязнения атмосферы в районах размещения горнопромышленных комплексов обычно наблюдается загрязнение природных вод,

что наносит значительный ущерб экосистемам и представляет опасность для здоровья населения. Нами проведена оценка канцерогенного и неканцерогенного рисков для здоровья населения под влиянием химических веществ, загрязняющих источники питьевого водоснабжения, в зоне воздействия горнопромышленного комплекса ОАО «Павловскгранит».

Расчеты по оценке рисков показали присутствие в питьевой воде целого спектра остаточных загрязняющих веществ (бор, железо, марганец, нитраты и др.), однако основным приоритетным загрязнителем источников питьевого водоснабжения являются нитраты. Для взрослого населения г. Павловска риск от воздействия нитратов, содержащихся в питьевой воде, находится на приемлемом уровне, а для детей в возрасте до 6 лет установлено наличие неприемлемого (опасного) уровня риска в мониторинговых точках контроля на территории г. Павловска [2].

Характеристика риска неканцерогенных эффектов для хронического и острого воздействия была проведена с учетом численности экспонированного населения города (24453 человека). Наиболее характерные коэффициенты экологических рисков, связанных с водным фактором, приведены в таблице 4.

Полученные данные позволяют сделать следующие выводы.

1. Неканцерогенный риск от воздействия на организм человека приоритетных химических веществ (*железа, марганца и бора*), содержащихся в источниках питьевого водоснабжения г. Павловска, с. Лосево и с. Воронцовка Павловского района для здоровья взрослого населения (старше 18 лет) и детей в возрасте до 6 лет, находится на приемлемом уровне, так как HQ составляет менее единицы. Опасности эти вещества не представляют.

Таблица 4 – Результаты расчета коэффициентов экологической опасности, характеризующих неканцерогенный риск (HQ)*

№ точ- ки (код)	<i>Марганец</i>		<i>Нитраты</i>	
	Взрослые	Дети	Взрослые	Дети
№120	0,006	0,015	0,533	1,244
№565	0,002	0,005	0,549	1,281
№566	0,002	0,005	0,532	1,242
№567	0,002	0,005	0,545	1,272
№124	0,006	0,015	0,126	0,293
№568	0,002	0,005	0,070	0,163
№569	0,002	0,005	0,053	0,123
№570	0,002	0,005	0,059	0,137
№128	0,006	0,015	0,353	0,824
№571	0,002	0,005	0,338	0,789
№572	0,002	0,005	0,329	0,769
№573	0,002	0,005	0,328	0,764

* Жирным шрифтом выделены уровни опасного риска.

2. Основным приоритетным загрязнителем источников питьевого водоснабжения в зоне воздействия ОАО «Павловскгранит» являются *нитраты*. Для взрослого населения риск от воздействия нитратов, содержащихся в питьевой воде, находится на приемлемом уровне (HQ = 0,549 макс.). Однако, следует отметить наличие неприемлемого (опасного) уровня риска от воздействия нитратов для детей в возрасте до 6 лет (HQ = 1,281 макс. при расчете на среднесуточную концентрацию) на территории г. Павловска (точки № 120, 565, 566, 567). Это объясняется тем, что ОАО «Павловскгранит» располагается в 10-километровой зоне от г. Павловска, а с. Воронцовка и с. Лосево находятся на более удаленном расстоянии от города (28 и 12 км соответственно).

На основе расчета индекса опасности для условий одновременного поступления нескольких веществ одним и тем же путем, например, ингаляционным или пероральным, была дана характеристика риска развития неканцерогенных эффектов, влияющих на кроветворную систему (табл. 5).

3. Результаты расчета неканцерогенных эффектов при комбинированном воздействии химических соединений (*железа, марганца и нитратов*) на кроветворную систему позволили установить неприемлемый (опасный) уровень риска для детей в возрасте до 6 лет (HI кровь = 1,30 макс. и HI общий = 1,33 макс.) в тех же точках на территории г. Павловска (№ 120, 565, 566, 567).

Таблица 5 – Индексы опасности, характеризующие уровни неканцерогенного риска возникновения заболеваний крови и кроветворной системы

№ точки (код)	Индекс опасности (HI кровь)		Индекс опасности (Нобщий)	
	дети	взрослые	дети	взрослые
№120	1,27	0,54	1,30	0,56
№565	1,30	0,56	1,33	0,57
№566	1,26	0,54	1,29	0,55
№567	1,29	0,55	1,32	0,57
№124	0,32	0,14	0,35	0,15
№568	0,18	0,08	0,21	0,09
№569	0,14	0,06	0,17	0,07
№570	0,15	0,07	0,18	0,08
№128	0,85	0,36	0,88	0,38
№571	0,80	0,34	0,84	0,36
№572	0,78	0,34	0,82	0,35
№573	0,78	0,33	0,81	0,35

Таким образом, горнодобывающее предприятие ОАО «Павловскгранит» является потенциальным источником загрязнения источников питьевого водоснабжения и может оказывать негативное влияние на здоровье

детского населения, проживающего в промышленной зоне города Павловска.

Нами также выполнена оценка экологического риска для детского населения при пероральном поступлении химических веществ с почвой. Для проведения расчетов частота воздействия была определена как продолжительность времени, когда почва свободна от снежного покрова и вероятен контакт с загрязненной почвой. Среднее число дней со снегом составляет 120 дней, в соответствии с чем при расчете среднесуточных доз было принято среднее число дней, когда почва открыта – 245 дней.

Расчет индивидуального канцерогенного риска проведен для 3 тяжелых металлов – кадмия, мышьяка, свинца. Для никеля расчет не проведен из-за отсутствия значения фактора наклона (фактора канцерогенного потенциала) при пероральном поступлении.

Результаты проведенного расчета воздействия канцерогенных веществ показали, что уровни канцерогенного риска для детского населения г. Павловска не превышают рекомендуемую безопасную величину (1×10^{-4}) по свинцу, кадмию и мышьяку. Значения данных величин индивидуально канцерогенного риска относятся к первому диапазону рисков (равный и меньше 1×10^{-6}), что характеризует уровни риска, как пренебрежимо малые, не отличающиеся от повседневных рисков.

Оценка риска неканцерогенных эффектов проводилась на основе расчета коэффициентов опасности. На этапе идентификации опасности в перечень приоритетных веществ для расчета неканцерогенного риска вошли 9 загрязнителей. Рассчитанные величины коэффициентов опасности неканцерогенного риска составили от $9,66 \times 10^{-8}$ до $2,26 \times 10^{-6}$. Данные величины можно охарактеризовать как пренебрежимо малые, не требующие принятия мер по управлению риском.

Расчеты показали отсутствие превышений допустимого значения индексов опасности (НИ) для детского населения при однонаправленном воздействии на нейроэндокринную, сердечно-сосудистую, иммунную, периферическую нервную, центральную нервную, репродуктивную системы, кровь, почки, печень, желудочно-кишечный тракт, на биохимические процессы в организме.

Таким образом, расчеты по оценке рисков для здоровья детского населения г. Павловска под влиянием химических веществ, загрязняющих почву, подверженную воздействию горнопромышленного комплекса ОАО «Павловскгранит», показали, что величины индивидуальных канцерогенного и неканцерогенного рисков не превышают допустимых уровней, характеризуются как пренебрежимо малые, не требуют дополнительных мер по их снижению, но такие уровни риска подлежат периодическому контролю.

Ещё одним ключевым районом для оценки экологических рисков здоровью населения был выбран *Острогожский район Воронежской области*. Цель исследования заключается в оценке канцерогенных и неканцерогенных рисков для здоровья населения, проживающего в посёлках Луки и Пески - Харьковские Острогожского района Воронежской области от источников загрязнения атмосферного воздуха, расположенных на территории промышленного предприятия по разработке карьера Копанищенского месторождения природного мела.

ЗАО «Копанищенский комбинат строительных материалов (ЗАО «ККСМ») специализируется на добыче природного мела Копанищенского месторождения и его промышленной переработке с выпуском строительной извести (негашёной), а также сыромолотого и сухомолотого мела. Технологический процесс производства молотого мела включает процессы добычи и транспортировки мела; первичного дробления; сушки; помола; упаковки и транспортировки готового продукта. Разработка месторождения осуществляется открытым способом [5].

Предприятие располагается на двух промышленных площадках. Карьеры по добыче мела находятся на двух земельных участках и составляют промышленную площадку № 1 общей площадью 151,8 га. Комбинат строительных материалов занимает третий земельный участок площадью 11,3 га, который является промышленной площадкой № 2.

Все технологические этапы производства мела и извести негашёной начинаются с добычи мела на карьере предприятия. В настоящее время работы по разработке мела ведутся в центральной части карьера, которая располагается к востоку от производственной площадки комбината. Забой находится на расстоянии 1,5 км от завода.

Разработка мела сопровождается значительным загрязнением атмосферного воздуха различными загрязняющими веществами. Главными источниками выделения этих загрязнителей являются выемочно-погрузочные и вскрышные работы, внутренние и внешние отвалы, работы по отвалообразованию, которые при неблагоприятных условиях приводят к интенсивному пылеобразованию. На пылеобразование влияют вида материала, гранулометрический состав, а также немалое значение и имеют локальные метеорологические условия. Кром этих факторов существенное значение имеет работа транспортно-дорожного комплекса, а среди основных веществ, выделяемых в атмосферу можно отметить азота диоксид, азота оксид, бензин, оксид углерода, сажу и оксид серы.

Зона влияния предприятия составляет 3500 * 3630 м, захватывая прилегающую жилую зону. Жилая зона, представленная пос. Луки, расположена в северном направлении на расстоянии 136 м, северо-западном, западном направлениях – на расстоянии 46 м, юго-западном направлении – на расстоянии 95 м от предприятия. На расстоянии 370 м к северо-востоку

от промплощадки находится другой поселок - пос. Пески-Харьковские. На территории санитарно-защитной зоны комбината расположены образовательные учреждения: МКОУ «Копанищенская ООШ» на 120 учащихся и МКДОУ «Копанищенский детский сад» на 45 мест. Всего в зоне влияния предприятия проживает 823 человека. Таким образом, зона влияния предприятия захватывает многие важные объекты, находящиеся в условиях потенциального экологического риска.

На территории предприятия ЗАО «ККСМ» расположено 103 источника загрязнения атмосферы, из них 34 - организованных и 69 - неорганизованных. Объем поступающих в атмосферу от функционирования объекта загрязняющих веществ включает 36 наименований, общий объем выбросов - более 3113 тонн в год. Из выбрасываемых веществ два загрязнителя относятся к 1-му классу опасности (бенз(а)пирен и свинец) и пять - ко 2-му классу опасности (серная кислота, марганец, бензол, сероводород, гидрофторид). Их суммарная доля в общем количестве выбрасываемых в атмосферу веществ составляет 19,44 %. Наибольший удельный вес (41,67%) приходится на вещества 3 класса опасности. При этом 5 веществ (азота диоксид, кальций карбонат, серы диоксид, пыль неорганическая /70-20 % SiO_2 /, и углерода оксид) формируют суммарный доминирующий выброс около 95% [5].

Среди поллютантов канцерогенным эффектом обладают следующие вещества: бенз(а)пирен, бензол, сажа (углерод черный) - вещества 1 категории опасности, т.е. с доказанной канцерогенностью для человека; свинец и этилбензол - вещества 2В категории опасности, т.е. являются возможными канцерогенами для человека.

В перечень приоритетных веществ для оценки неканцерогенного риска включены 10 загрязнителей, в том числе: азота диоксид, азота оксид, кальций оксид (известь негашёная), керосин кальций карбонат, сера диоксид, марганец, пыль неорганическая /20-70% SiO_2 /, углерод (сажа), углерода оксид.

Таким образом, на этапе идентификации опасности по оценке риска здоровью населения в предварительный перечень приоритетных химических веществ вошли 14 загрязняющих атмосферный воздух веществ, содержащихся в выбросах предприятия ЗАО «ККСМ».

Расчетно-аналитическая часть была следующая: в зоне влияния объекта рассчитаны среднегодовые концентрации каждого приоритетного загрязняющего вещества в 242 точках воздействия/контрольных точках на территории жилой застройки, в том числе: в пос. Луки – в 221 точке, пос. Пески - Харьковские – в 21 точке. Затем, используя алгоритм оценки риска здоровью, рассчитали уровни канцерогенного и неканцерогенного рисков по приоритетным веществам.

В зоне влияния предприятия проживают 823 чел., в том числе пос. Луки - 732 чел., пос. Пески - Харьковские – 91 чел. По каждому из 14 загрязняющих веществ в жилой застройке, находящейся под аэротехногенным воздействием, выбраны минимальные, максимальные концентрации исследуемых веществ. В целом установлено, что расчетные концентрации химических веществ, поступающих в атмосферный воздух, ниже предельных гигиенических нормативов.

Оценка индивидуального канцерогенного риска проведена от воздействия 5 веществ: свинца, углерода (сажи), бенз(а)пирена, бензола, этилбензола. Полученные данные свидетельствуют, что максимальные уровни индивидуального *канцерогенного риска* в контрольных точках жилой застройки, расположенной в зоне влияния предприятия, составляют от воздействия сажи $1,96 \cdot 10^{-5}$; от воздействия остальных канцерогенных веществ – менее $1 \cdot 10^{-6}$ и соответствуют значениям: бензола – $6,61 \cdot 10^{-9}$, бенз(а)пирена – $9,01 \cdot 10^{-10}$, свинца – $4,83 \cdot 10^{-11}$, этилбензола – $2,36 \cdot 10^{-11}$. Данные риски характерны для пос. Луки.

В зоне влияния предприятия на территории жилой застройки пос. Пески- Харьковские, максимальные уровни индивидуального канцерогенного риска составляют от воздействия сажи – $1,9 \cdot 10^{-6}$; бензола – $1,56 \cdot 10^{-10}$, бенз(а)пирена – $9,08 \cdot 10^{-11}$, свинца – $9,98 \cdot 10^{-13}$, этилбензола – $5,57 \cdot 10^{-13}$.

Следует отметить, что максимальные индивидуальные канцерогенные риски несколько выше в пос. Луки, чем в пос. Пески -Харьковские.

Таким образом, наиболее высокие значения индивидуального *канцерогенного риска* отмечаются в зоне влияния предприятия от воздействия *сажи*, основной вклад в суммарный риск которой составляет 99,9%. В соответствии с критериями приемлемости данные индивидуальные риски относятся ко второму диапазону (индивидуальный риск в течение всей жизни более $1 \cdot 10^{-6}$, но менее $1 \cdot 10^{-4}$), что соответствует предельно допустимому риску. Данные уровни подлежат постоянному контролю.

В таблице 6 показаны расчеты канцерогенных рисков. Индивидуальные риски от воздействия бензола, бенз(а)пирена, свинца, этилбензола в соответствии с критериями приемлемости риска относятся к первому диапазону (индивидуальный риск в течение всей жизни равный или меньший $1 \cdot 10^{-6}$), и характеризуются как пренебрежимо малые, не отличающиеся от обычных, повседневных рисков. Подобные риски не требуют никаких дополнительных мероприятий по их снижению, и их уровни подлежат только периодическому контролю.

Таблица 6 – Канцерогенные риски для здоровья населения, связанные с аэротехногенным воздействием загрязняющих веществ в зоне влияния выбросов ЗАО «ККСМ»

Населенные пункты Острогожского района	Загрязняющие вещества	Канцерогенный риск (CR)	
		минимальный	максимальный
пос. Луки (732 чел.)	бензол	$1,36 \cdot 10^{-10}$	$6,61 \cdot 10^{-9}$
	бенз(а)пирен	$5,75 \cdot 10^{-11}$	$9,01 \cdot 10^{-10}$
	свинец	$6,55 \cdot 10^{-13}$	$4,83 \cdot 10^{-11}$
	углерод (сажа)	$1,03 \cdot 10^{-6}$	$1,96 \cdot 10^{-5}$
	этилбензол	$4,85 \cdot 10^{-13}$	$2,36 \cdot 10^{-11}$
пос. Пески- Харьковские (91 чел.)	бензол	$1,17 \cdot 10^{-10}$	$1,56 \cdot 10^{-10}$
	бенз(а)пирен	$6,84 \cdot 10^{-11}$	$9,08 \cdot 10^{-11}$
	свинец	$7,34 \cdot 10^{-13}$	$9,98 \cdot 10^{-13}$
	углерод (сажа)	$1,35 \cdot 10^{-6}$	$1,9 \cdot 10^{-6}$
	этилбензол	$4,16 \cdot 10^{-13}$	$5,57 \cdot 10^{-13}$

На основе расчета коэффициентов опасности была проведена оценка риска *неканцерогенных эффектов*. Ранжирование загрязняющих веществ по величине средних значений коэффициентов опасности показало, что в целом в жилой застройке зоны влияния ЗАО «ККСМ», первое ранговое место занимает сера диоксид (НҚ средний = 0,38); второе - азот диоксид и керосин (НҚ средний = 0,18), на третьем - пыль неорганическая: 70-20% SiO₂ (НҚ средний = 0,14). Для остальных веществ средние коэффициенты опасности менее 0,1.

Анализ рассчитанных коэффициентов опасности (НҚ средний) для отдельных населенных пунктов, расположенных в зоне влияния предприятия, свидетельствует, что в *пос. Луки* также наиболее высокие значения среднего коэффициента опасности отмечены от серы диоксида – 0,41; азот диоксида и керосина – 0,2, пыли неорганической: 70-20% SiO₂ – 0,15. По остальным веществам средние коэффициенты опасности не превышают 0,1. В *пос. Пески Харьковские* по одному загрязняющему веществу средний коэффициент опасности выше значения 0,1: серы диоксиду – 0,23 (первое ранговое место).

На всех территориях наименьшие средние коэффициенты опасности отмечаются при воздействии марганца и углерода оксида.

Анализ максимальных значений рассчитанных коэффициентов опасности (НҚ max) в жилой застройке, находящейся в зоне влияния предприятия, показал, что в зоне влияния выбросов в целом, в том числе *пос. Луки*, неканцерогенный риск составляет: от керосина - 0,69, серы диоксида – 0,67, азот диоксида – 0,66, кальция оксида – 0,34, кальция карбоната – 0,25,

пыли неорганической: 70-20% SiO_2 – 0,24; по остальным загрязняющим веществам коэффициенты опасности при максимальной экспозиции не превысят 0,1. В пос. *Пески-Харьковские* максимальный уровень неканцерогенного риска составляет от воздействия серы диоксида 0,25, пыли неорганической /70-20% SiO_2 / – 0,1, от остальных приоритетных загрязнителей – менее 0,1.

Таким образом, полученные значения *неканцерогенного риска* от каждого из приоритетных веществ имеют вполне допустимый уровень (ниже 1).

В результате анализа данных 10 загрязнителей по развитию *неканцерогенных эффектов* для хронического ингаляционного воздействия установлено, что наибольшему влиянию подвержены органы дыхания, на которые оказывают воздействие 8 из 10 приоритетных химических веществ. Приоритетные химические вещества в жилой зоне пос. Луки и Пески-Харьковские, находящейся под влиянием выбросов ЗАО «ККСМ», оказывают однонаправленное комбинированное воздействие на органы дыхания (8 веществ), кроветворную систему (3 вещества), центральную нервную систему (2 загрязнителя), процессы развития, сердечно-сосудистую систему, печень, нервную систему, иммунную систему, зубы, а также вызывают преждевременную смертность и некоторые системные эффекты (по 1 приоритетному ЗВ).

Оценка неканцерогенного риска с учетом воздействия на критические органы и системы показала, что максимальные суммарные индексы опасности (НИ max) при воздействии на органы дыхания составляют 1,96 (что превышает допустимый уровень - 1), на кроветворную систему – 0,74, центральную нервную систему – менее 0,1 (пос. *Луки*). В пос. *Пески-Харьковские* при максимальной экспозиции суммарные неканцерогенные риски развития неблагоприятных эффектов на органы дыхания составят достигают 0,49, кровь – 0,077, центральную нервную систему – 0,004. За исключением пос. Луки, данные уровни риска можно оценить, как допустимые.

Таким образом, проведенная оценка канцерогенного и неканцерогенного рисков для здоровья населения пос. Луки и пос. Пески-Харьковские при воздействии химических веществ, загрязняющих атмосферный воздух выбросами стационарных и передвижных источников ЗАО «ККСМ», позволила сделать следующие выводы.

1. Максимальные значения суммарного *канцерогенного риска* несколько выше в жилой застройке пос. Луки ($1,96 \cdot 10^{-5}$), чем в пос. Пески-Харьковские ($1,91 \cdot 10^{-6}$). Основным вкладчиком в суммарный риск является сажа – 99,9%. Данные уровни подлежат постоянному контролю.

2. Ранжирование загрязняющих веществ по величине средних значений коэффициентов опасности показало, что в жилой застройке пос. Луки и Пески- Харьковские зоны влияния ЗАО «ККСМ», первое ранговое место занимает серы диоксид, второе - азот диоксид и керосин, третье - пыль неорганическая.

3. С точки зрения проявления *неканцерогенных эффектов* для хронического ингаляционного воздействия можно констатировать, что наибольшему влиянию подвержены органы дыхания (на развитие патологии дыхательной системы оказывают воздействие 8 из 10 приоритетных химических веществ). Причем в пос. Луки зафиксированы максимальные суммарные индексы опасности ($HI_{max} = 1,96$) при воздействии на органы дыхания, которые превышают допустимый уровень ($HI = 1$) и представляют безусловную опасность.

Таким образом, становится очевидно, что горнодобывающее предприятие ЗАО «Копанищенский комбинат строительных материалов» является потенциальным источником загрязнения атмосферы и может оказывать негативное влияние на здоровье населения прилегающих территорий, проживающих вблизи промышленной зоны по разработке карьера Копанищенского месторождения природного мела.

Проведен анализ заболеваемости населения в целом по Острогожскому району Воронежской области без выделения населения, проживающего непосредственно в зоне влияния ЗАО «ККСМ», из-за отсутствия отчетных форм в разрезе населенных пунктов. Результаты анализа представлены за период с 2015 по 2019 год по формам медицинской статистической отчетности:

- №12 «Сведения о числе заболеваний, зарегистрированных у больных, проживающих в районе обслуживания лечебного учреждения»;
- №7 «Сведения о заболеваниях злокачественными новообразованиями»;
- №35 «Сведения о больных со злокачественными новообразованиями».

Оценка показателей заболеваемости проведена для возрастных групп: дети (0-14 лет включительно) и взрослые (18 лет и более) с учетом критических органов и систем, на которые оказывают воздействие приоритетные химические вещества, определенные на этапе «доза-ответ», а именно: болезней органов дыхания; болезней крови, кроветворных органов и отдельных нарушений, вовлекающих иммунный механизм; болезней нервной системы; болезней системы кровообращения; болезни печени; врожденных аномалий.

Анализ заболеваемости свидетельствует, что в ее структуре на протяжении анализируемого периода во всех возрастных группах первое ран-

говое место занимают болезни органов дыхания: в 2019 году их доля составила для детей 0-14 лет 63,7%, взрослых - 23,1%.

По оценкам к ведущим патологиям, формирующим заболеваемость населения Острогожского района, помимо органов дыхания, относятся:

- в возрастной группе дети (*0-14 лет включительно*) - болезни глаз (5,7% в структуре заболеваемости 2019 года), травмы, отравления (5,0%), инфекционные и паразитарные болезни (4,7%), болезни органов пищеварения (4,5%);

- в возрастной группе взрослые (*18 лет и более*) - травмы, отравления (14,7%), болезни системы кровообращения (10,4%), болезни кожи и подкожной клетчатки (8,5%), болезни мочеполовой системы (8,0%).

В то же время в структуре заболеваемости детей /от 0 до 14 лет/ на долю болезней с учетом критических органов и систем приходится: болезней нервной системы – 1,9% (9 ранговое место в структуре впервые выявленных заболеваний); болезней крови, кроветворных органов и отдельных нарушений, вовлекающих иммунный механизм – 0,8% (13 ранговое место); болезней системы кровообращения – 0,4% (15 ранговое место); врожденных аномалий – 0,1% (17 ранговое место); болезней печени (не регистрировались).

Среди взрослого населения болезни системы кровообращения занимают 3 ранговое место, доля болезней нервной системы составила 3,1% (10 ранговое место), болезней крови, кроветворных органов 0,17% (17 ранговое место); врожденных аномалий – 0,01% (19 ранговое место); болезней печени (0,2%).

Таким образом, установлено, что для обеих возрастных групп ведущей патологией являются болезни органов дыхания. В целом результаты оценки заболеваемости по Острогожскому району вполне сопоставимы с расчетам канцерогенного и неканцерогенного рисков, которым подвергаются жители пос. Луки и Пески-Харьковские, проживающие в зоне влияния выбросов предприятия ЗАО «Копанищенский комбинат строительных материалов» по разработке двух карьеров при добыче природного мела.

Проведенные исследования показали, что горнодобывающее предприятие ЗАО «Копанищенский комбинат строительных материалов» является потенциальным источником загрязнения атмосферы и может оказывать негативное влияние на здоровье населения, проживающего в промышленной зоне по разработке карьера по добыче природного мела.

Заключение

Выполненные региональные геоэкологические исследования в двух районах Воронежской области позволяют сделать следующие основные выводы.

1. В районах с интенсивным воздействием горнодобывающих объектов на среду обитания приоритетную роль в формировании общественного

здоровья имеет аэротехногенное загрязнение атмосферы, а ведущей патологией являются болезни органов дыхания.

2. Основными вкладчиками в суммарный экологический риск являются сажа, серы диоксид, азота диоксид и хотя уровни концентраций ниже предельных гигиенических нормативов, уровни загрязнения требуют постоянного контроля.

3. С точки зрения проявления эффектов хронического ингаляционного воздействия можно констатировать, что наибольшему влиянию подвержены органы дыхания (на развитие патологии дыхательной системы оказывают заметное воздействие 80 % приоритетных химических веществ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Идентификация экологически опасных объектов и прогнозирование техногенных последствий их поражения / А.В. Иванов, С.А. Куролап, О.В. Клепиков и др. - Воронеж: Издательство «Научная книга», 2017. - 177 с.

2. Клепиков О.В. Оценка уровня воздействия техногенных факторов при добыче и производстве гранитного щебня / О.В. Клепиков, С.А. Куролап // Тенденции развития науки и образования: рецензируемый науч. журнал. - Самара, 2021. - Февраль 2021. - № 70.- Ч.2. - С.122-124.

3. Прожорина Т.И. Оценка экологических рисков для здоровья населения г. Павловска от загрязнения атмосферы / Т.И. Прожорина, С.А. Куролап // Закономерности трансформации экологических функций геосфер крупных горнопромышленных регионов: материалы Межд. науч.-практ. конф. (Воронеж, 17-19 ноября 2020). – Воронеж, 2020. - С.67-72.

4. Р. 2.1.10.1920–04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» (М., 2004). - Электронный ресурс. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200037399>.

5. Стёпкин Ю.И. Оценка аэротехногенного риска для здоровья населения в зоне влияния промышленного комплекса по добыче и переработке природного мела / Ю.И. Стёпкин, Т.И. Прожорина, С.А. Куролап, О.В. Клепиков, А.С. Боева // Естественные и технические науки. - 2021. - №2. - С.120-125.

MEDICAL AND DEMOGRAPHIC CRITERIA OF MAN-CAUSED ECOSYSTEM TRANSFORMATION AND REGIONAL ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL RISK TO POPULATION HEALTH IN MINING AREAS

S.A. Kurolap¹, Yu.I. Stepkin², T.I. Prozhorina¹, O.V. Klepikov^{1,2}

¹Voronezh State University, Voronezh

²Center for Hygiene and Epidemiology in the Voronezh Region, Voronezh

Abstract: The medical and demographic criteria for the technogenic transformation of ecosystems in the areas where mining facilities are located are substantiated and, using the example of two intensively developed mining districts of the Voronezh region - Pavlovsky and Ostrogozhsky - an assessment of the risk to public health associated with technogenic pollution of the environment was carried out. Priority pollutants that have an adverse effect on public health have been established. The levels of potential environmental risks that cause the development of various pathological effects in the population living in the zone of influence of enterprises are calculated. The leading role of pathology of the respiratory organs in the formation of public health in areas of intense technogenic impact associated with mining is noted.

Key words: mining regions, medical and demographic criteria, environmental pollution, environmental risks, public health.

УДК: 551.4 (476.13)

ВОЗДЕЙСТВИЕ ЛИТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ЛИТОСФЕРЫ НА ПРИМЕРЕ ГОМЕЛЬСКОГО ХИМИЧЕСКОГО ЗАВОДА

Меженная О.Б., Андрушко С.В.

Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины,

г. Гомель, Республика Беларусь

Меженная Ольга Борисовна, e-mail: mezennaia-o@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются особенности химического загрязнения земель предприятия промышленного комплекса на примере Гомельского химического завода, а также результаты оценки состояния грунтов. Приводятся сведения о выявленных загрязняющих химических веществ и элементах-доминантах в зонах размещения промышленных объектов.

Ключевые слова: литотехническая система, техногенные воздействия, зона влияния, химические вещества, степень загрязнения, величина содержания химических веществ, фоновое содержание химических элементов.

Влияние промышленности на экологию огромна. Деятельность химических, энергетических и других заводов наносит серьезный вред окружающей среде. Промышленная литотехническая система изучает связь деятельности промышленности и природной среды. Исследуется то, как предприятие влияет на экологию близлежащих территорий. Любая техническая система не может существовать в отрыве от той среды, где она сооружена. В пространственную границу влияния литотехнической системы (ЛТС) входит зона проникновения техногенных воздействий в верхние слои литосферы, которые могут варьироваться в широких пределах, достигая глубины в 12 км [7, с.919-920].

При оценке последствий техногенных воздействий, совместное рассмотрение геологических и техногенных объектов подразумевает необходимость изучения ЛТС. Особенность функционирования, наиболее распространенных на территории Беларуси промышленных литотехнических систем, рассмотрено на примере Гомельского Химического завода [3, с.48].

Гомельский химический завод – ведущий белорусский производитель комплексных фосфорсодержащих минеральных удобрений функционирует с 1966 года. Негативным следствием работы предприятия является образование больших отвалов фосфогипса. Складирование фосфогипса производится на открытый грунт без всяких защитных мероприятий. В настоящее время отвалы фосфогипса занимают площадь более 500 га, их высота превышает 100 м, а масса достигла более 25 млн. тонн с ежегодным приростом примерно в 1000 тонн. Вследствие этого воздействия происходит минерализация подземных вод, токсичное загрязнение территорий на больших расстояниях. В солевом составе отвалов 97,0 – 97,2 % составляет гипс ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$), остальное приходится на фосфаты железа, фосфаты алюминия, ортофосфорную кислоту (H_3PO_4) 0,5 – 1,5 %, фтор-силикаты калия и натрия, фториды кальция. Отвалы могут содержать мышьяк, стронций, уран и редкоземельные металлы [6, с.119].

Задачей данного исследования является получение данных о состоянии компонентов природной среды, необходимых для оценки воздействия на окружающую среду, с целью предотвращения, минимизации и ликвидации вредных и нежелательных последствий воздействия на экосистемы и человека, в частности.

Накопление загрязняющих веществ ведет к негативному воздействию почвоподобных тел на другие компоненты природной среды и окружающую среду в целом, и приводит к загрязнению грунтовых вод и наземных водоемов, кумуляции их в тканях и органах растений и животных. По пищевым цепям загрязняющие вещества могут попадать в организм человека и способствовать развитию патологических состояний различной этиологии. Особенно такая ситуация характерна для земель промышленно-

сти, для которых свойственны наибольшие уровни загрязнения. Именно промышленные предприятия являются источниками поступления в окружающую среду широкого спектра вредных веществ. Объем выбросов стал соизмерим с масштабами природных процессов миграции и аккумуляции различных соединений, что обуславливает возрастание научного интереса к проблеме загрязнения окружающей среды, а также выработки способов минимизации негативных последствий [2, с.24].

Порядок выполнения работ по дифференцированному *нормированию содержания химических веществ* в землях включает 5 этапов:

- отнесение химического вещества к одной из групп химических веществ;
- выбор значения фоновое содержание для расчета приемлемого уровня;
- расчет приемлемого уровня для отдельных территорий;
- расчет пороговых значений для отдельных территорий и почв (грунтов) с разной буферностью;
- установление интервалов степени загрязнения земель (включая почвы) на основе пороговых значений [4, с.3].

1. В зависимости от наличия информации о фоновом содержании или установленных нормативов предельно допустимых концентраций химических веществ в землях: цинк, медь, никель, нефтепродукты, марганец, хром, свинец *относятся к группе 1 химических веществ* в соответствии с пунктом 5 ТКП 17.03-06-2019 [4, с.3].

2. *Выбор значения фоновое содержание* зависит от наличия соответствующей информации по конкретному химическому веществу, согласно графы 4 таблицы А.1 Приложения А ТКП 17.03-06-2019 [4, с.7].

3. *Порядок расчета приемлемого уровня* для химических веществ группы 1 согласно 5.1.1 и 5.1.2 проводится по формуле 1 (таблица 1) в соответствии с пунктом 7.2 ТКП 17.03-06-2019 [4, с.5]:

$$P_y = \sqrt{C_{\text{фон}} \times C_{\text{ПДК}}} , \quad (1)$$

где P_y – приемлемый уровень химического вещества, мг/кг;
 $C_{\text{фон}}$ – значение фоновое содержание химического вещества, мг/кг;
 $C_{\text{ПДК}}$ – предельно допустимые концентраций химического вещества в землях, мг/кг.

4. *Порядок расчета пороговых значений* грунтов с разной буферностью, установления интервалов степени загрязнения земель рассчитываются по формуле 2 (таблица 1) в соответствии с пунктом 8.1 ТКП 17.03-06-2019 [4, с.5]:

$$ПЗ = П_y \times k \times K, \quad (2)$$

где $ПЗ$ – пороговое значение, мг/кг;

$П_y$ – приемлемый уровень, мг/кг;

k – коэффициент для отдельной территории [4, с.8];

K – коэффициент буферности почв (грунтов), равный для песчаных почв (грунтов) – 1,1, для супесчаных почв (грунтов) – 1,7, для суглинистых почв (грунтов) – 2,1, (использование коэффициента, равного 2,1, допускается также для глинистых почв (грунтов)).

Таблица 1 – Расчётные значения приемлемого уровня и расчётные пороговые значения для грунтов

Компонент	Расчётное значение приемлемого уровня мг/дм ³ .	Расчётное пороговое значение в песчаных грунтах, мг/дм ³
Цинк	45	199
Медь	16	70
Никель	10	46
Нефтепродукты	185	817
Марганец	521	2292
Хром	23	102
Свинец	23	99

5. На основании рассчитанных пороговых значений *устанавливаются интервалы по четырем степеням загрязнения земель* (таблица 2) в соответствии с пунктом 8.3 ТКП 17.03-06-2019 [4, с.6]:

– интервал от более 1 до 5 пороговых значений – низкая степень загрязнения;

– интервал от более 5 до 20 пороговых значений – средняя степень загрязнения;

– интервал от более 20 до 50 пороговых значений – высокая степень загрязнения;

– интервал более 50 пороговых значений – очень высокая степень загрязнения.

Проведение работ по отбору образцов грунтов осуществлялись для исследования степени загрязнения различными компонентами. Работы по отбору проб проводились на территории частично занятой навалами строительного мусора и отвалами фосфогипса. Глубина отбора осуществлялась до грунтовых вод. [5, с.5].

Лабораторные исследования грунтов по определению содержания сульфатов и хлоридов выполнены в соответствии с требованиями государ-

ственных стандартов и нормативно-методических документов инженерно-геологической лабораторией ОАО «Гомельгеосервис».

Величины содержания в грунтах хлоридов в пересчёте на Cl^- составила 243,73-276,36 мг на 1 кг грунта (величина содержания в землях не нормируется). Концентрация содержания сульфатов в грунтах в пересчёте на SO_4^{2-} варьируется в пределах от 655,42 до 8092,46 мг на 1 кг грунта, при этом предельно-допустимая концентрация (ПДК) содержания в землях - 160 мг на 1 кг грунта [4, с.7].

Следовательно, степень загрязнения грунта сульфатами в пересчёте на SO_4^{2-} превышает количество ПДК в 4,1-50,6 раз.

Лабораторные исследования грунтов по определению содержания марганца, меди, никеля, свинца, хрома, цинка, нефтепродуктов, фосфора, нитратов, азота, фторидов, а так же лабораторные исследования подземных вод по определению содержания марганца, меди, никеля, свинца, хрома, цинка, нефтепродуктов, фосфора, нитратов, сульфатов, хлоридов, азота, фторидов выполнены в соответствии с требованиями государственных стандартов и нормативно-методических документов лабораторным отделом ГУ «Гомельский областной центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья».

Величина содержания свинца и хрома составила <3 мг на 1 кг грунта при ПДК 6 мг на 1 кг грунта. Содержание никеля <2 мг на 1 кг грунта при ПДК 4 мг на 1 кг грунта. Величина содержания марганца <40 мг на 1 кг грунта при ПДК 100 мг на 1 кг грунта. Концентрация нитратов колеблется в пределах от $48,4 \pm 3,6$ до $87,1 \pm 6,5$ мг на 1 кг грунта, где ПДК составляет 130 мг на 1 кг грунта. Содержание цинка в диапазоне от <10 до $11,0 \pm 0,9$ мг на 1 кг грунта при ПДК 37 мг на 1 кг грунта. Величина меди в грунтах составила от $3,3 \pm 0,4$ до $6,0 \pm 0,5$ мг при ПДК равном 3 мг на 1 кг грунта. Содержание нефтепродуктов варьируется от 299 ± 75 до 1317 ± 329 мг при ПДК 50 мг на 1 кг грунта.

Следовательно, величина содержания таких компонентов как свинец, марганец, цинк, никель, хром и нитраты не превышают уровень ПДК. Степень загрязнения грунта медью превышает содержание ПДК в $1,1 \pm 0,13$ - $2,0 \pm 0,17$ раз. Степень загрязнения нефтепродуктами превосходит ПДК в $5,98 \pm 1,5$ - $26,34 \pm 6,58$ раз.

Таким образом, на основании рассчитанных пороговых значений устанавливаются интервалы по четырем степеням загрязнения земель (таблица 2) в соответствии с пунктом 8.3 ТКП 17.03-06-2019 [4, с.6]:

Таблица 2 – Степень загрязнения образцов грунтов

Компонент	Номер скважины				
	1	4			
	Глубина отбора, м				
	0,0	0,0	0,5	1,0	2,0
Цинк	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
Медь	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
Никель	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
Нефтепродукты	Отсутствует	Низкая	Низкая	Отсутствует	Отсутствует
Марганец	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
Хром	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
Свинец	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует

В зависимости от степени загрязнения земель в отношении загрязненной территории определяются и выполняются мероприятия в соответствии с экологическими нормами и правилами (выявление источников вредного воздействия на земли, минимизация поступления загрязняющих веществ в земли и т.д.) [7, с.6]. Изменения, происходящие в различных компонентах геологической составляющей рассматриваемой промышленной ЛТС, сопровождаются формированием литохимических и гидрогеохимических полиэлементных аномалий, характеризующихся широкой ассоциацией элементов-загрязнителей. Актуальными остаются вопросы расширенного взгляда на проблемы эксплуатации литотехнических систем, за счет учета их взаимодействия с геологической средой, свидетельствующих техногенных изменениях состояния геоэкологической составляющей этих систем, выраженных в виде различной степени загрязнения.

Таким образом, в техногенном комплексе отвалов фосфогипса и шламонакопителем на Гомельском химическом заводе грунты загрязнены медью (до 2 ПДК), сульфатами (до 51 ПДК) и нефтепродуктами (до 33 ПДК). В связи с ограниченностью распространения грунтов, загрязненных данными компонентами, в качестве одного из вариантов по нейтрализации загрязнения можно предусмотреть смешивание загрязненных грунтов с незагрязненными на территории площадки до концентрации, при которой загрязнение отсутствует. В глобальном плане, необходимо создать нормативно-методический документ, регламентирующий порядок обращения с химически загрязненными землями, который бы четко определил порядок работ по выявлению состояния земель, регулировал ответственность и

действия землепользователей по снижению экологической опасности при использовании загрязненных земель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Галкин А.Н., Королев В.А. Особенности функционирования литотехнических систем территории Белоруссии / А.Н. Галкин, В.А. Королев // Инженерная геология – №4. – 2014. – С. 28-44.

2 Ереско М.А., Кузьмин С.И. Оценка состояния земель/почв промышленных предприятий Республики Беларусь / М.А. Ереско, С.И. Кузьмин // Земля Беларуси – №3. – 2011. – С. 24-31.

3 Трофимов В.Т. Эколого-геологические системы и новая структура экосистемы / В.Т. Трофимов // Вестник московского университета. Серия 4: Геология – № 2. – 2009. – С. 48-52.

4 ТКП 17.03-06-2019 Охрана окружающей среды и природопользование. Земли. Порядок выполнения работ по дифференцированному нормированию содержания химических веществ в землях (включая почвы). – Введ. 01.05.19. – Минск: Минприроды – III, 2019 – 17 с.

5 Лавшук А.Н. Технический отчёт об инженерно-геоэкологических изысканиях для объекта: «Возведение склада жидкого аммиака вместимостью 2000 т по ул. Химзаводская, 5, г. Гомель на ОАО «Гомельский химический завод» – Гомель, 2020 – 43 с.

6 Стёпин С.Г., Сурков А.В., Галкин А.Н. Исследование сульфидного загрязнения подземных вод / С.Г. Стёпин, А.В. Сурков, А.Н. Галкин // Вестник витебского государственного технологического университета. - № 2 (23). – 2012. – С. 119-124.

7 Шарапов Р.В. Размышления об эколого-геологических системах / Р.В. Шарапов // Вестник тамбовского университета. Серия: естественные и технические науки. Том 18, выпуск № 3. – 2012. – С.918-922.

THE IMPACT OF THE LITHOTECHNICAL SYSTEM ON LITHOSPHERE POLLUTION BY THE EXAMPLE OF THE GOMEL CHEMICAL PLANT

Mezhennaya O.B.

Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Republic of Belarus

Abstract. The article examines the features of chemical pollution of lands of an industrial complex on the example of the Gomel chemical plant, as well as the results of assessing the state of soils. Information about the identified polluting chemical substances and dominant elements in the zones of industrial facilities is given.

Key words: lithotechnical system, technogenic impacts, zone of influence, chemical substances, degree of pollution, the value of the content of chemical substances, the background content of chemical elements

УДК 624.131 (476)

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В РАЙОНАХ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Павловский А.И.¹, Галкин А.Н.², Андрушко С.В.¹, Моляренко В.Л.²

*¹Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины,
ул. Советская, 104, 246003 г. Гомель, Республика Беларусь*

*²Витебский государственный университет имени П.М. Машиерова,
пр-т Московский, 33., 210038 г. Витебск, Республика Беларусь*

Александр Илларионович Павловский, e-mail: aipavlovsky@mail

Александр Николаевич Галкин, e-mail: galkin-alexandr@yandex.ru

Аннотация. В статье приведены результаты анализа состояния и развития геодинамических процессов на территории Беларуси, на примере крупнейших предприятий по добыче, переработке и обогащению полезных ископаемых. Охарактеризованы основные факторы трансформации геологической среды и ее экологических функций, в частности геодинамической. Установлено, что развитие геодинамических процессов вызывает: уплотнение, разуплотнение и внутреннее разрушение массивов горных пород; просадки земной поверхности и индуцированную сейсмичность; развитие склоновых водно-эрозионных и дефляционных процессов.

Ключевые слова: трансформации геологической среды, геодинамические процессы, техногенное воздействие, мульды проседания, индуцированная сейсмичность, обвальнo-осыпные процессы, водная эрозия.

Горнодобывающая и горно-перерабатывающая промышленность являются существенным фактором трансформации геологической среды и ее экологических функций. Это в первую очередь относится к верхним горизонтам литосферы, которые в результате добычи и переработки полезных ископаемых претерпевают значительные изменения. В районах добычи и переработки полезных ископаемых формируются комплексы карьерных, шахтных, отвальных и других хозяйств, связанные сетью дорог и продуктопроводов. Разработка крупных карьеров, шахт требует складирования в отвалы и терриконы больших объемов пустой породы, строительство дренажных систем. В случае переработки полезных ископаемых, создаются горно-обогадительные комбинаты, значительные площади заняты хвостохранилищами и шламонакопителями.

Особенности взаимодействия таких сложных инженерных систем с верхней частью литосферы, определяются компонентами геологической среды, а также видами хозяйственной деятельности. Изменение геодинамической обстановки (проявление и интенсивность эндогенных и экзогенных геолого-геоморфологических процессов) приводит к существенным преобразованиям геологического, гидрогеологического, геоморфологического строения, состава, состояния и свойств грунтов. Основное внимание при этом важно уделить изучению геолого-геоморфологических процессов, как протекающих в настоящее время, так и способных возникнуть в будущем.

На территории Беларуси функционируют предприятия добыче, переработке и обогащению полезных ископаемых. Крупнейшие горнопромышленные комплексы: производственное объединение «Доломит» (месторождение доломитов «Руба»); ОАО «Беларуськалий» (Старобинское месторождение калийных солей); РУПП «Гранит» (карьер по добыче строительного камня «Микашевичи»); ОАО «Гомельский химический завод» (предприятие по производству фосфоросодержащих минеральных удобрений, серной и фосфорной кислот).

На этих территориях происходит значительная трансформации экологических функций геологической среды, в результате техногенного воздействия, в частности геодинамической. Источники техногенного воздействия на геологическую среду влияют на проявление и интенсивность как эндогенных, так и экзогенных геодинамических процессов, в рамках формирования лито-технических систем.

Эндогенная геодинамика проявляется на площадях подземной (шахтной) разработки калийных солей Старобинского месторождения калийных солей крупнейшего в Европе которое было открыто в 1949 году и начало разрабатываться с начала шестидесятых годов прошлого столетия. Площадь месторождения составляет 325 км², а общие запасы руды более 7,8 млрд. тонн [1]. Добыча и переработка полезного ископаемого на четырех рудниках (Солигорский район привела к развитию просадочных явлений в виде мульд проседания (рисунок 1). В плане мульды имеют овальную форму, ширина достигает 100–300 м, а глубина 1–3 м и более. На днищах просадочных форм рельефа развиваются процессы заболачивания [2].

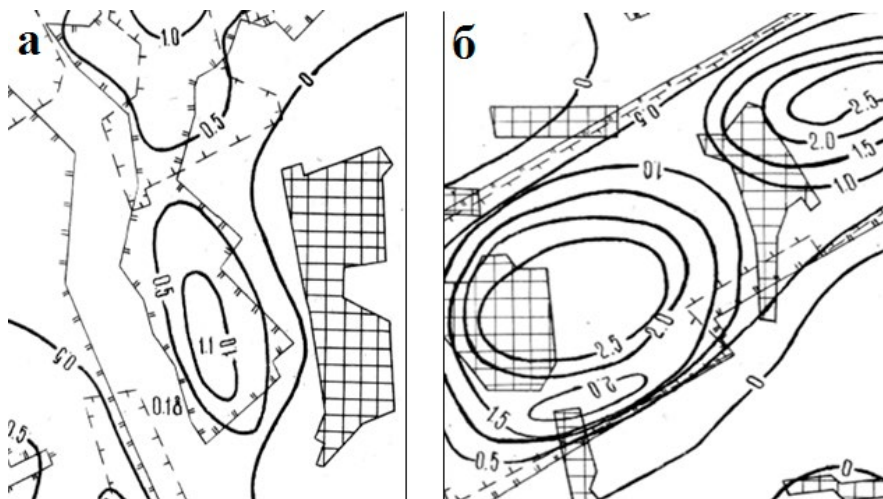


Рисунок 1 – Фрагменты карт оседания земной поверхности на территории Солигорского промышленного района [3].

Техногенные мульды проседания: а – Брянчицкая; б – Жабинская и Пивашинская

К важнейшим геодинамическим явлениям, возникающим при проведении подземных шахтных работ, относится возникновение индуцированной сейсмичности. Пространственное развитие геодинамического процесса в виде проявления сейсмической активности выходит за пределы шахтных полей, охватывая территории, примыкающие к району непосредственных горных работ. В пределах проведения подземных горных работ фиксируются горно-тектонические удары, сопровождающиеся разрушениями породного массива, а сильные горные удары нередко проявляются на земной поверхности в виде трещин и провалов. Так в пределах Старобинского месторождения калийных солей и прилегающих территорий широкое распространение получили сейсмотектонические процессы. Причинами их проявления могут являться, как природные (естественные землетрясения, реализация древних геодинамических напряжений), так и техногенные факторы (виды и объемы очистных работ в промышленных калийных горизонтах) (рисунок. 2)[4].

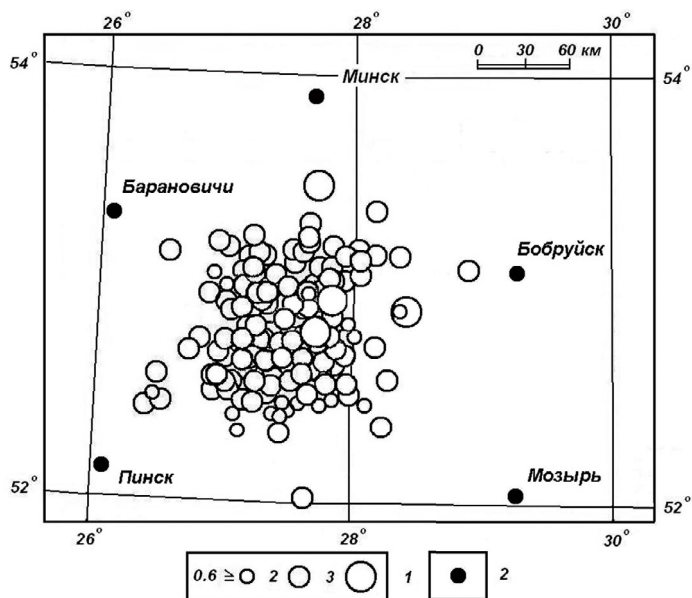


Рисунок 2 – Картографическая схема эпицентров сейсмических событий в Солигорском горнопромышленном регионе и на сопредельной территории:
1 – магнитуа землетрясений; 2 – населенные пункты [4].

Экзогенные геодинамические процессы проявляются в пределах районов добычи и переработки полезных ископаемых наиболее широко. К ним относятся: перемещения значительных объемов горной породы, обрушения, обвалы, осыпи, горные удары, оползни, солюфлюкция, эрозия, дефляция, суффозия, крип и др. Интенсивность и особенности проявления экзогенных процессов обусловлены спецификой техногенной деятельности: созданием новых форм рельефа (карьеры, отвалы, терриконы и др.), изменением местного базиса эрозии и повышения энергии рельефа, от которой зависит скорость и направление экзогенных процессов как в пределах карьерно-отвального комплекса, так и на прилегающих к нему территориях; дезинтеграцией массивов горных пород с образованием дисперсных обломочных грунтов. Формирующийся техногенный рельеф является структурной основой (каркасом) и определяет основные направления пространственно-временной дифференциации вещества и энергии в литотехнической системе, определяя движение поверхностных и подземных вод (рисунок 3), гравитационных потоков обломочного материала и воздушных суспензий, образующихся в результате горных работ и транспорта.

Техногенный рельеф в районах добычи и переработки полезных ископаемых имеет ограниченное распространение (отвалы и карьеры), но обуславливает здесь широкое распространение активных неравновесных склонов, что способствует активному развитию гравитационных и водно-эрозионных процессов. В лито-технической системе карьеров на неравновесных склонах преобладают обвально-осыпные процессы. Типичным примером является карьер «Гралево» (рисунок 4) по добыче верхнедевонских доломитов в окрестностях Витебска, а также карьер «Микашевичи» по добыче строительного камня (гранитов, диоритов, габбро, гнейсов AR-PR1) в Брестской области (рисунок 5).

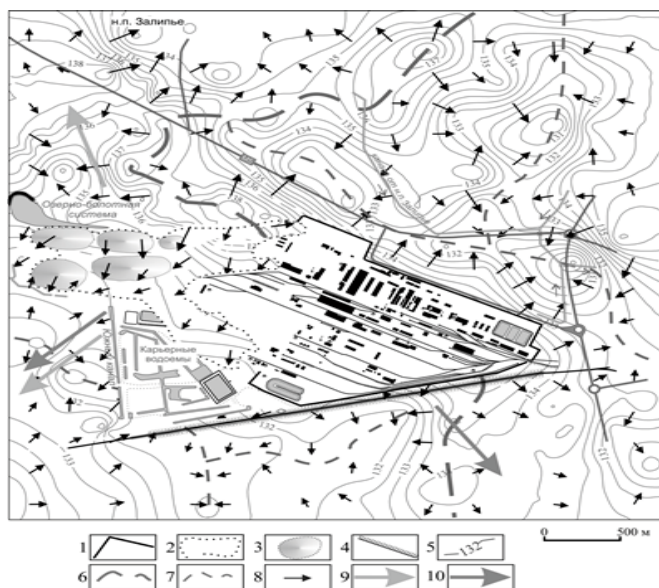


Рисунок 3 – Структура потоков в пределах Гомельского химического завода: 1 – контур промышленной площадки ГХЗ, 2 – контур отвалов фосфогипса, 3 – терриконы, 4 – насыпи и дамбы, 5 – изогипсы, 6 – линия главного водораздела, 7 – тальвеги, 8 – направления поверхностного стока, 9 – основные направления движения грунтового и подморенного водоносного горизонта, 10 – основные направления движения палеогенового водоносного горизонта



Рисунок 4 – Обвально-осыпные борта карьера «Гралево»

Подобные процессы и явления можно наблюдать и в других карьерах. К примеру, в меловых карьерах у г. Кричев Могилевской области, п. Красносельский Гродненской области, на месторождениях «Грандичи» близ г. Гродно, «Коммунарское» в Костюковичском районе, ряде разработок месторождений песчано-гравийных отложений в Минском и Логойском районах Минской области и др. Гравитационные процессы могут проявляться практически во всех карьерах, котлованах и выемках как незначительных по размерам, так и глубоких, охватывающих площади в сотни гектаров. Однако они, как правило, будут отличаться объемом, формой и видом смещающихся масс.



Рисунок 5 – Карьер «Микашевичи»

Организация и функционирование карьерно-отвальных и перерабатывающих производств приводит к образованию больших объемов техногенных грунтов – отвалы вскрышных пород и терриконы отходов переработки полезных ископаемых. На отвалах и терриконах ход гравитационных процессов определяется перераспределением вещества в пределах этих техногенных форм и их физико-механическими свойствами. Происходящие при разработке, транспортировке и складировании нарушения структурных связей отложений, гранулометрического состава и влажности приводят к тому, что техногенные фации обладают меньшей плотностью и прочностью по сравнению с природными.

Вскрыша чаще всего представлена моренными глинистыми грунтами, водно-ледниковыми песчано-гравийными и аллювиальными песчаными отложениями мощностью 10–20 м. Приуроченность к вскрыше грунтовых вод, выветрелость моренных отложений, крутые склоны (до 50°) обусловили здесь широкое развитие различных типов оползневых процессов с объемами от нескольких сотен до тысяч м³ перемещенных грунтовых масс. Отвальные глинистые породы обладают высокой плотностью и находятся преимущественно в полутвердой и тугопластичной консистенции, имеют умеренную естественную влажность, слабо водопроницаемы, при промерзании склонны к пучению. Необходимо отметить, что после отсыпки отвала с глубиной происходит закономерное уплотнение отложений и повышение показателей их прочности. Свойства фаций отложений вскрышных пород отвалов и техногенные отложения терриконов формирующиеся в процессе отсыпки на поверхности вмещающих пород при подземной добыче полезных ископаемых и последующей их переработке отличаются от свойств отложений естественного залегания. В результате переработки сальвинитовой руды на Солигорском ГОК на земной поверхности образованы солеотвалы отходов, высотой до 100–120 м, которые примерно на 90% состоят из хорошо растворимого галита. К насыпным техногенным отложениям относятся отходы переработки полезных ископаемых, в частности фосфогипс, отвалы начали формироваться с 1969 г., когда Гомельский химический завод освоил выпуск фосфорных удобрений на основе апатитовых концентратов. На склоны отвалов и терриконов развиваются склоновые процессы, ускоренная дефляция и водная эрозия в виде плоскостного и ручейкового смыва (рисунок 6,7).



Рисунок 6 – Ручейковая сеть на поверхности отвалов вмещающих пород Солигорского ГОК

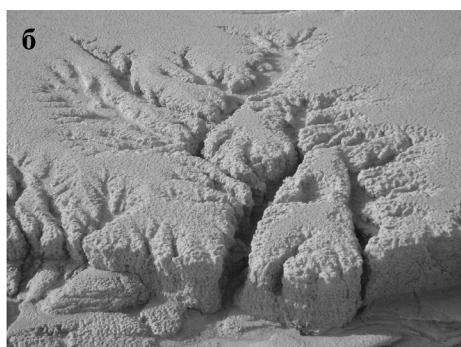


Рисунок 7 – Оползни-сплывы (а) и ручейковая сеть (б) на поверхности отвалов фосфогипса

Таким образом, можно отметить, что в районах добычи и переработки полезных ископаемых формируются сложные лито-технические системы, которые существенно влияют на геодинамическую экологическую функцию геологической среды.

Источники техногенного воздействия на геологическую среду влияют на проявление и интенсивность как эндогенных, так и экзогенных геодинамических процессов, в рамках формирования лито-технических систем.

Особенности пространственно-временных закономерностей проявления, интенсивности и специфики геодинамических процессов в лито-технических системах районов добычи и переработки полезных ископаемых

мых зависят от способов разработки месторождений (открытый, шахтный,) складирования вскрышных пород и отходов переработки сырья.

Развитие геодинамических процессов вызывает: уплотнение, разуплотнение и внутреннее разрушение массивов горных пород; просадки земной поверхности и индуцированную сейсмичность; развитие склоновых водно-эрозионных и дефляционных процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геология Беларуси / А. С. Махнач [и др.]. – Минск, 2001. – 815 с.
2. Матвеев А.В. История формирования рельефа Белоруссии. – Минск: Навука і тэхніка, 1990. – 144 с.
3. Тяшкевич И.А., Понтус А.Р. Новейшая геодинамика горнорудных районов по космогеологическим данным // Геотектоника и минеральные ресурсы Беларуси / Ред. кол: Э.А. Высоцкий, В.Н. Губин (отв. ред.) и др. – Минск: БГУ, 2008. – С. 40–47.
4. Аронов, Г. А. Особенности пространственно-временной сейсмической активности в Солигорском горнопромышленном регионе / Г. А. Аронов // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2019. – Т. 63, № 2. – С. 000–000. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2019-63-2-000-000>

УДК 502.08

ФОНОВОЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ ПОЛЕ – «ПРИРОДНАЯ» СОСТАВЛЯЮЩАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ ЛИТОСФЕРЫ И ЕГО СВОЙСТВА НА ТЕРРИТОРИИ ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА

Сафронич И.Н.¹, igor@geophys.vsu.ru; Ефременко М.А.¹, 2880@mail.ru;

Л.И. Надёжка^{1,2}, nadezhka@geophys.vsu.ru;

¹ -ФГБУН ФИЦ ЕГС РАН, г. Воронеж, Россия

² -ФГБОУ ВО «ВГУ», г. Воронеж, Россия

Аннотация. В работе дано определение фоновому сейсмическому полю и его возможным источникам. Результаты геофизических исследований на территории Воронежского кристаллического массива с использованием пассивных методов показывают, что сейсмическое поле содержит фоновую составляющую. Установлено, что запись сейсмического фона обладает свойствами Гауссовского белого шума.

Ключевые слова. фоновое сейсмическое поле, сейсмический шум, сейсмический фон, Гауссовский белый шум.

Развитие и успешное применение методов пассивной сейсморазведки с использованием характеристик фонового сейсмического поля для поиска и разведки нефти и газа, картирования погребенных контрастных объектов, тектонических нарушений, построение аналогов геологических разрезов и 3-D моделей показывают его высокую информативность. Изменения сейсмического поля в пункте наблюдения регистрируются сейсмологическим оборудованием и преобразуются в цифровую запись сейсмического процесса, называемого микросейсмическим шумом. Приставка «микро» отражает факт использования чувствительного оборудования с высокой разрешающей способностью, которая позволяет регистрировать амплитуды фоновых колебаний, создаваемые геологической средой. В дальнейшем описании эту приставку опустим, чтобы не вводить дополнительные (не нужные) термины в теорию экологической геологии.

Сейсмическое поле в пункте наблюдения создает сложный волновой процесс – **сейсмический шум (СШ)**, являющийся суперпозицией колебаний от большого числа природных и антропогенных источников, который регистрируется сейсмологическим оборудованием. К антропогенным источникам СШ относятся: движение транспортных средств; взрывы в карьерах; работа трансформаторов, агрегатов и мощных моторов, т.е. источники, возникающие в процессе хозяйственной деятельности человека. В зависимости от удаления антропогенного источника от пункта наблюдения и его мощности они создают разные по уровню воздействия. На близких расстояниях они записываются в виде «помех» (амплитуда записи на непрерывное время повышается более чем в два раза). Суперпозиция воздействий от большого числа удаленных источников создаёт плавное изменение уровня в течение суток. Такое воздействие называется «техногенная нагрузка». Она отражает «жизнь» близко расположенной производственной и/или социальной инфраструктуры и характеризуется суточной периодичностью. К природным источникам СШ можно отнести землетрясения (создающие воздействия аналогичные помехам), волнения на акваториях океанов и морей («Сейсмические бури» - аналог техногенной нагрузки с периодами до нескольких суток), а также фоновый шум Земли – **сейсмический фон (СФ)**, в котором, согласно предположению, должны отражаться особенности геологического строения и геодинамической ситуации в пункте наблюдения.

С физической точки зрения возможность существования сейсмического фона может быть объяснена просто: любое тело обладает собственными колебаниями, если его температура выше абсолютного нуля. Это не противоречит предыдущему определению [1], а скорее дополняет его. В результате их объединения получается, что фоновое сейсмическое поле на поверхности образуется в результате суперпозиции собственных колебаний геологических структур, находящихся при разных РТ-условиях, воз-

никающих и поддерживаемых поступающей из глубинных горизонтов Земли эндогенной энергией. Можно даже предположить, что амплитуда этих колебаний пропорциональна поступающей энергии, а изменение РТ-условий обеспечивают связь глубины залегания структуры с периодом создаваемых ей собственных колебаний.

Для иллюстрации существования фонового сейсмического поля на территории Воронежского кристаллического массива (ВКМ) рассмотрим несколько результатов, полученных за 20 лет исследований совместной лабораторией глубинного строения, геодинамики и сейсмического мониторинга им. проф. А.П.Таркова ВГУ и ФИЦ ЕГС РАН. Его сотрудниками собран богатейший фактический материал по сейсмическому полю в различных геологических структурах и геодинамических ситуациях на территории ВКМ.

Регистрируемые в пункте наблюдения сейсмической станцией изменения сейсмического поля представляет собой запись трёх взаимно ортогональных компонент сейсмического шума, представляющую собой разложение скорости движения грунта по трем направлениям Z-вертикальный (вверх-вниз) и два горизонтальных NS - (север-юг) и EW - (восток-запад). На рис. 1а приведен пример 30-ти минутного фрагмента трехкомпонентной записи сейсмической станцией «Сторожевое» сейсмического шума максимально свободного от помех, записанного широкополосными сейсмометрами СМ-3ОС с частотой дискретизации 20 отсч/с. На рис. 1б представлены частотные характеристики компонент сейсмического шума – сглаженные амплитудные спектры.

Для числовой характеристики сейсмического шума во временной области обычно используется его уровень, т.е. средняя амплитуда центрированной записи на выбранном интервале и в заданном частотном диапазоне.

$$U\tau = \sqrt{Z(t) - M\tau}, \quad (1)$$

где $Z(t)$ – исходная или фильтрованная запись вертикальной (Z) компоненты сейсмического шума, а $M\tau$ - среднее значение $Z(t)$ на интервале τ . Во временной области уровень наиболее объективно отражает изменения микросейсмического шума.

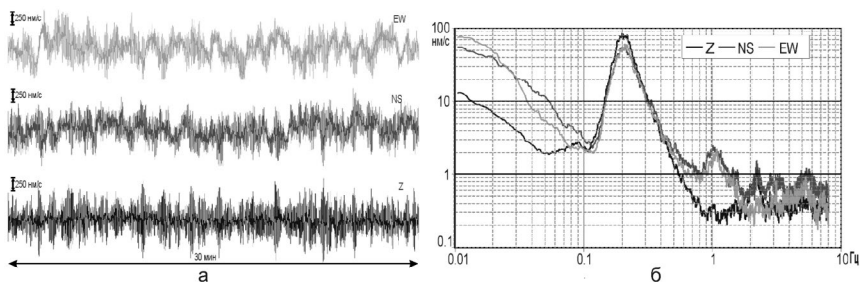


Рисунок 1 – Примеры 3-х компонентной широкополосной записи микросейсмического шума (а) с минимальным количеством помех и его сглаженный амплитудный спектр (б) в пункте наблюдения «Сторожевое»

В частотной области аналогичную уровню характеристику представляет мгновенный сглаженный амплитудный спектр Фурье. По сути, спектр является набором амплитуд, характеризующий уровень каждой гармоники на выбранном фрагменте записи. Это более информативная числовая характеристика сейсмического шума позволяющая получить общее представление о частотном составе исследуемого процесса, при этом в отличие от спектра мощности обладает свойством аддитивности.

В статье [2], приводится результат сравнения уровня сейсмического шума максимально свободного от помех в двух диапазонах частот 0.7-1.4 Гц и 1.0-8.0 Гц для трех крупномасштабных структур ВКМ (мегаблок КМА, Хоперский мегаблок и ЛШЗ). В каждой из этих структур было исследовано по 5 пунктов наблюдений (рис. 2а).

Наблюдения в каждом пункте проводились в течение 14 дней. Для учета вариаций уровня сейсмического шума использовалось приведенное значение ночного уровня вертикальной составляющей относительно базовой станции «Сторожевое», которая работала на всех расстановках.

Другой задачей было изучение отражения в характеристиках микросейсмического шума особенностей геологического строения докембрийского фундамента. Для этого был выбран профиль, расположенный в двух структурах ВКМ и пересекающий Лосевско-Мамонский разлом первого ранга (рис. 2б). По полученным в ходе полевых работ данным рассматривался нормированный среднесуточный уровень микросейсмического поля в четырех частотных диапазонах: 0.4-0.8 Гц, 0.7-1.4 Гц, 1.5-3.0 Гц и 3.0-6.0 Гц. В качестве базовой также использовались одномоментные записи сейсмической станции «Сторожевое». Результаты данного исследования опубликованы в коллективной монографии под редакцией Н.В. Шаров, А.А. Маловичко, Ю.К. Щукин [3].

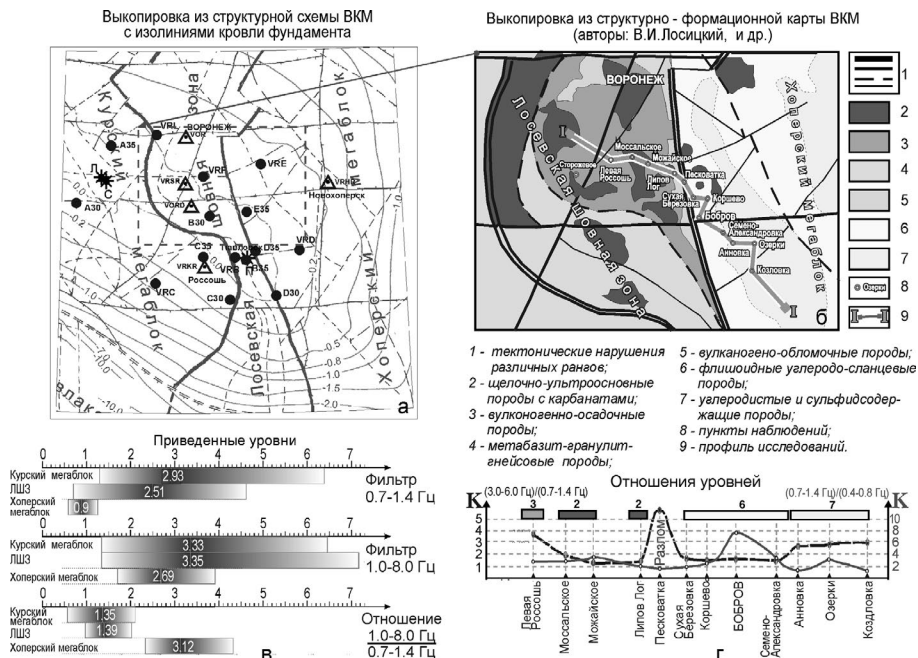
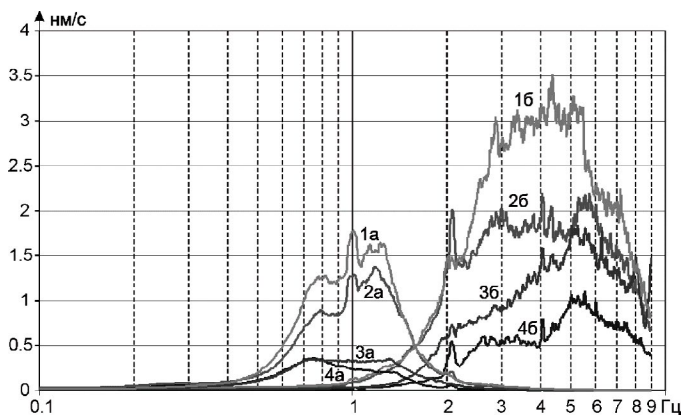


Рисунок 2 – Схемы расположения пунктов наблюдений при проведении площадных (а) и профильных (б) работ, приведенные средние уровни ночного сейсмического шума в крупных структурах ВКМ в диапазонах частот 0.7 – 1.4 Гц и 1.0-0.8 Гц и их отношений (в), изменение значения отношения уровней фильтрованных записей ночного сейсмического шума вдоль профиля пересекающего Лосевско-Мамонский разлом (г)

В результате выполненных исследований установлено, что крупномасштабные геологические структуры ВКМ находят отражение в уровнях сейсмического шума (диапазон 0.7-1.4 Гц), а особенно, их отношениях, что позволяет отличать записи, сделанные на Хоперском мегаблоке от записей Курского и соединяющей их Лосевской шовной зоны (рис 2в). Отсутствие принципиальных различий между ними, как в уровне, так и в отношении, не противоречит представлению о ЛШЗ как о зоне субдукции, в верхней части которой располагаются породы Курского, а внизу Хоперского мегаблоков. Результаты исследования вдоль профиля (рис 2г) показывают, что сами изменения уровней в этих частотных диапазонах не коррелируют ни с какими геофизическими параметрами геологической среды [3], а вот отдельные отношения уровней сейсмического шума можно логично проинтерпретировать. Первое отношение (3.0-6.0 Гц/0.7-1.4 Гц) хорошо согла-

судется с типом пород в кровле докембрийского фундамента, а также позволяет гарантировано выделить пункт наблюдения, расположенный в зоне действия Лосевско-Мамонского разлома (рис. 2г). Второе отношение (0.7-1.4 Гц/0.4-0.8 Гц) хорошо коррелируется с уровнем техногенной нагрузки в населенных пунктах, где стояло оборудование. Его максимум соответствует райцентру (г. Бобров), причем интересно, что высокая техногенная нагрузка в этом пункте не помешала правильному определению петрофизического типа породы кровли докембрийского фундамента. Это показывает широкий диапазон возможностей использования записей сейсмического поля.

Теперь рассмотрим это в частотной области и сравним амплитудные спектры пунктов наблюдений расположенных в разных структурах территории ВКМ. Для этого используя фильтрацию в двух диапазонах частот 0.7-1.4 Гц и 1.0-8.0 Гц, усредним полученные амплитудные спектры пунктов (рис. 2а) расположенных в одинаковых структурах и отдельно усредним амплитудные спектры пунктов наблюдений расположенных вблизи Лосевско-Мамонского разлома. На рис.3 приведены осредненные амплитудные спектры пунктов наблюдений расположенных в зоне разлома в пределах структур ВКМ.



1 –КМА; 2 –ЛШЗ; 3 –Хоперский мегаблок; 4 – зоны воздействия крупных глубинных разломов

Рисунок 3 – Осредненные амплитудно-частотные спектры вертикальной составляющей микросейсмического шума (б) в двух диапазонах частот 0.7-1.4 Гц (а) и 2.0-8.0 Гц (б) в пределах структур ВКМ

Как видно из рис.3 спектральные составы записей в различных структурах имеют значимые отличия. Зона Лосевско-Мамонского разлома

выделяется во всех диапазонах частот более низкими значениями спектральных амплитуд [3].

Рассмотрим амплитудные спектры в тех же диапазонах частот на предмет отражения в них зоны действия разломов Лосевско-Мамонского и Новохоперского. Для этого выберем пункты наблюдения расположенные на удалениях до 50 км от этих разломов, и находящиеся в двух структурах ЛШЗ и Хоперском мегаблоке. Дополнительно используем данные трех пунктов наблюдений расположенных в Хоперском мегаблоке вблизи Новохоперского разлома. Полученные амплитудные спектры приведены на рис.4. Как видно из рис. 4 лучше всего разломы отражаются в диапазоне частот 0.7-1.4 Гц. При этом зона влияния обоих разломов составляет примерно 20 км. Однако их поведение в сейсмическом шуме диаметрально противоположно.

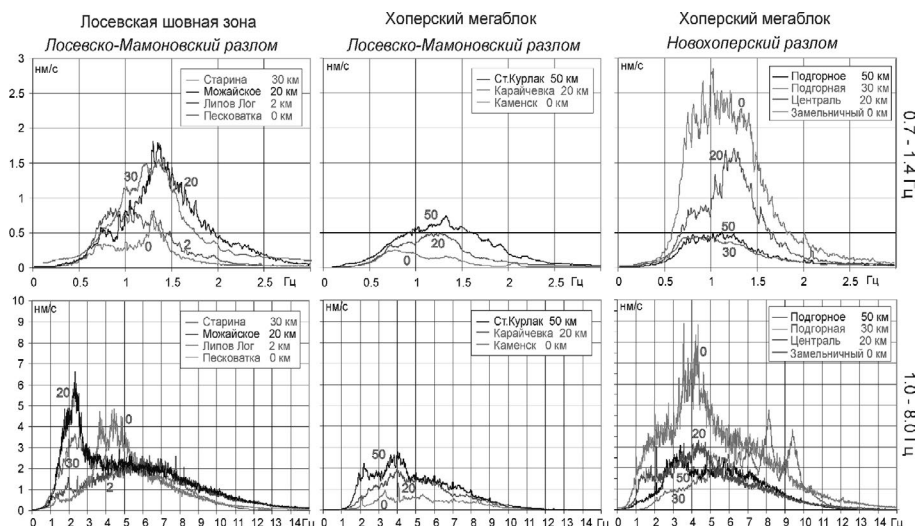


Рисунок 4 – Амплитудные спектры вертикальной составляющей сейсмического шума в двух диапазонах частот 0.7-1.4 Гц (а) и 1.0-8.0 Гц в пунктах наблюдений расположенных на разных удалениях от Лосевско-Мамонского и Новохоперского разломов сгруппированные по структурам ВКМ в которых они расположены

Лосевско-Мамонский разлом, находящийся в состоянии сжатия, проявляется низкими значениями амплитуд, а Новохоперский разлом, находящийся в состоянии растяжения, характеризуется повышенными значениями спектральных амплитуд. В пунктах наблюдений удаленных от

разломов на 30 и 50 км спектральные амплитуды в Хоперском мегаблоке по амплитуде не имеют существенных различий, что подтверждает влияние на сейсмический шум геодинамического состояния разломной зоны.

В связи с отражением в сейсмическом шуме геологических структур региона рассмотрим возможность её моделирования. Используем осредненные амплитудные спектры для пунктов наблюдений (рис. 2а) и проанализируем возможные пространственные распределения значений спектральных амплитуд в узких частотных диапазонах, получаемые в результате их моделирования по приведенным значениям к станции «Сторожевое». На рис. 5 представлен результат моделирования распределения приведенных значений в диапазоне частот 0.6-0.7 Гц, совмещенный с фрагментом структурной схемы ВКМ [3].

Не смотря на малое число пунктов наблюдений, результат моделирования хорошо отражает Лосевско-Мамонский разлом и Россошанский макроблок, явно выделяющийся на фоне Курского мегаблока и имеющий видимую границу с ЛШЗ. Она соответствует Ряжско-Кантимировскому разлому, который в северной части слабо выделяется в сейсмическом поле, что возможно связано с отсутствием возле него пунктов наблюдений или отражается возможное субдукционное строение этой части территории, представленной породами Курского мегаблока. В других диапазонах частот полученные модели согласуются со структурной схемой ВКМ в меньшей степени, что в принципе не позволяет утверждать отсутствие возможной связи частоты с глубиной, т.к. вероятно только для глубин соответствующих диапазону частот 0.6-0.7 Гц данная структурная схема является актуальной, т.е. на ней присутствуют все границы. Также именно в этом частотном диапазоне полностью отсутствуют антропогенные воздействия (техногенная нагрузка) и природные (сейсмические бури), которые теоретически могли оказать влияния на результат, получаемый в других частотных диапазонах.

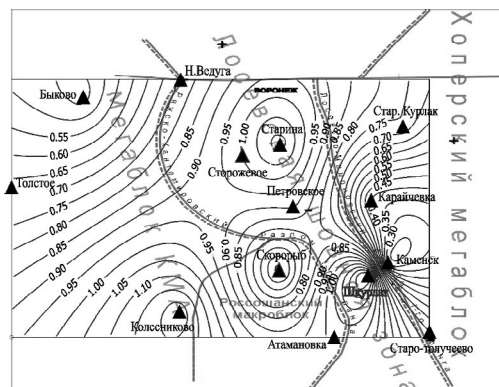


Рисунок 5 – Моделирование значений сейсмического шума на территории ВКМ в диапазоне частот 0.6-0.7 Гц на фрагменте структурной схемы ВКМ

Результаты, полученные при выполнении исследований сейсмического шума, показывают, что сейсмическое поле на территории ВКМ содержит информацию о её основных структурных элементах, а также отражает особенности геологического строения их докембрийского фундамента. Это может служить объективным подтверждением существования фонового сейсмического поля на территории ВКМ, знание свойств которого позволит создать методические основы его использования для решения широкого спектра эколого-геофизических задач.

Приведенные выше примеры показывают возможность успешного использования характеристик записей сейсмического шума, как во временной, так и в частотной области. В большинстве методов пассивной сейсморазведки используют амплитудно-частотные характеристики сейсмического шума (осредненный амплитудный или спектр мощности). Они получаются статистической обработкой интервала записи с использованием амплитудных спектров Фурье. Анализ амплитудных спектров пунктов наблюдений на территории ВКМ выявил их важную особенность, связанную со средним значением спектральных амплитуд гармоник и их среднеквадратическим отклонением. Для иллюстрации данной особенности рассмотрим непрерывную 4.5 часовую максимально свободную от помех трехкомпонентную запись сейсмического шума (рис. 6а) [4,5].

Для получения осредненного амплитудного спектра трёхкомпонентной записи разделим её на 108 перекрывающихся (50%) фрагментов длительностью 5 мин. Для каждого фрагмента (окна) рассчитаем амплитудный спектр, используя преобразование Фурье с весовым окном Хемминга и сглаживанием спектральных амплитуд по семи значениям. По каждой частоте вычислим среднее значение и

среднеквадратичное отклонение. Полученные частотные зависимости средней амплитуды (СА) и среднеквадратического отклонения (СКО) записи сейсмического шума имеют коэффициент корреляции выше 0.9 по любому из каналов, что говорит о сильной связи параметров прямого характера. Используя 4-х кратное увеличение СКО, наложим его на СА [4,5].

Как видно из рис. 66 их хорошее совпадение наблюдается в отдельных диапазонах частот. Однако присутствуют диапазоны частот, где они не совпадают. Причем СКО там, всегда выше СА, что возможно связано с присутствием в этом частотном диапазоне помех (любого генезиса). Тогда предположив, что уровень помех на записи снизится до нуля, то распределение значений коэффициента вариации ($K_{\text{var}} = \text{СКО}/\text{СА} * 100\%$) по всем частотам будет стремиться к одномодальному (мода = 25%). Это однозначно показывает присутствие в сейсмическом шуме непрерывного, однородного ($K_{\text{var}} < 33\%$), широкополосного процесса (во всем диапазоне частот $K_{\text{var}} = \text{const}$) – **сейсмического фона**, который может характеризовать фоновое микросейсмическое поле в пункте наблюдения.

Установлена также интересная особенность: данное свойство (зависимость) сохраняется для набора того же количества отдельных фрагментов записи с минимальным уровнем помех, выбранных в ночное время даже в разные сутки. Это дополнительно характеризует сейсмический фон в пункте наблюдения на территории ВКМ как квазистационарный процесс.

Таким образом, фоновое сейсмическое поле на территории Воронежского кристаллического массива существует и создает в пунктах наблюдения широкополосный, непрерывный, однородный квазистационарный сейсмический процесс – микросейсмический фон, который можно считать Гауссовым белым шумом (ГБШ).

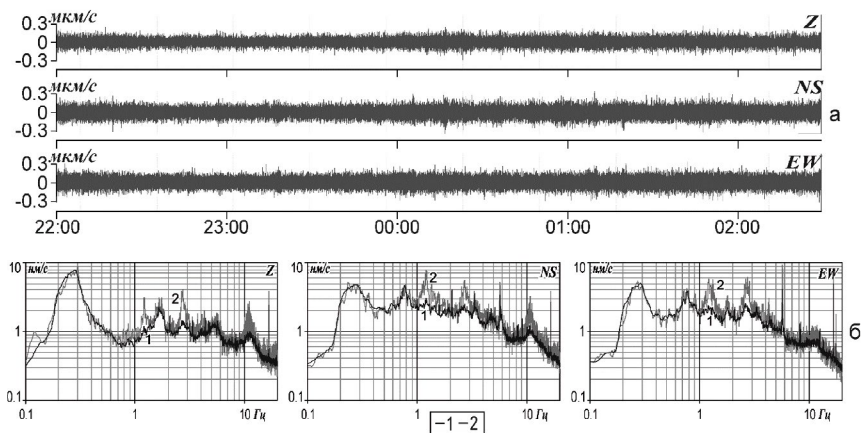


Рисунок 6 – Статистические характеристики ($N=108$): среднее значение (16) и четырёх кратное среднеквадратическое отклонение (26) для амплитуд гармоник трехкомпонентной записи сейсмического шума с минимальным уровнем помех (а)

Исследование выполнено при финансовой поддержке грантов РФФИ и БРФФИ в рамках научного проекта № 20-55-00010.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сафронич, И.Н. Сейсмическое поле в структуре экологической геологии / И.Н.Сафронич, В.А. Бударина, А.И.Павловский, М.А. Ефременко // Этот сборник. С. .
2. Сафронич, И.Н. Некоторые особенности микросейсмического процесса в пределах региональных структурно-тектонических элементов Воронежского кристаллического массива [Текст] / И.Н. Сафронич, Л.И. Надежка // Доклады РАН.-2008.-т.418.-№5.-С.689-692.
3. Надежка Л.И. Микросейсмические исследования на территории Воронежского кристаллического массива / Л.И.Надежка, И.Н. Сафронич, Р.А. Орлов, М.А. Ефременко // Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы: Кн.2. Микросейсмичность под редакцией Н.В. Шаров, А.А. Маловичко, Ю.К. Щукин.- Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. – С. 48-80.

4. Сафронич, И. Н. Особенности последней версии процессора обработки сигналов в программном комплексе WSG и возможности его использования в научно-исследовательской работе / И. Н. Сафронич, С. А. Красилов, С. И. Колесникова, А.В.Савенков // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных.– Обнинск: ГС РАН, 2016.– С. 380-389.

5. Сафронич, И. Н. Анализ данных в частотной области с использованием процессора обработки сигналов программного комплекса WSG / И. Н. Сафронич, С. А. Красилов, И.М. Колесников, С. И. Колесникова // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных.– Обнинск: ГС РАН, 2017.– С. 386-395.

BACKGROUND SEISMIC FIELD IS A "NATURAL" COMPONENT OF THE GEOPHYSICAL ECOLOGICAL FUNCTION OF THE LITHOSPHERE AND ITS PROPERTIES ON THE TERRITORY OF VORONEZH CRYSTAL MASSIF

I.N.Safronich¹, igor@geophys.vsu.ru; L.I. Nadezhka^{1,2}, nadezhka@geophys.vsu.ru

M.A. Efremenko¹, 2880@mail.ru;

¹ - Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences, Voronezh, Russia

²–Voronezh State University, Voronezh, Russia

Annotation. The paper defines the background seismic field and its possible sources. The results of geophysical studies on the territory of the Voronezh Crystal massif using passive methods show that the seismic field contains a background component. It is established that the recording of the seismic background has the properties of Gaussian white noise.

Keywords. background seismic field, seismic noise, seismic background, Gaussian white noise.

УДК 502.08

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РАСЧЕТУ ЧИСЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ АНТРОПОГЕННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ПУНКТЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Сафронич И.Н, igor@geophys.vsu.ru.

ФГБУН ФИЦ ЕГС РАН, г. Воронеж, Россия

Аннотация. В работе рассмотрен методологический подход на основе использования оценок амплитудного спектра фонового сейсмического поля для выделения его антропогенной составляющей. Разработаны число-

вые параметры, которые позволяют получить объективную характеристику составляющих сейсмического поля в населенных пунктах. Это позволит совместно с другими экологическими методами начать разработку для сейсмического поля критериев комфортности жизнедеятельности в них населения.

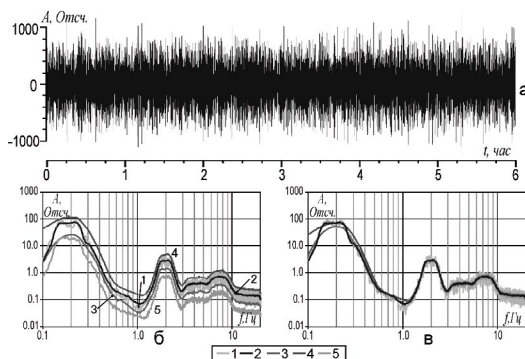
Ключевые слова. фоновое сейсмическое поле, сейсмический фон, Гауссовский белый шум, оценки амплитудного спектра ГБШ, числовые параметры составляющих сейсмического поля

Результаты, полученные ранее [1,2], показывают, что сейсмическое поле содержит информацию об основных структурных элементах исследуемой территории (ВКМ), а также отражает особенности геологического строения её докембрийского фундамента. Это подтверждает существование фонового сейсмического поля, знание свойств и характеристик которого позволит разработать методические основы его использования при решении широкого спектра эколого-геофизических задач. Также установлено [2], что фоновое сейсмическое поле на территории Воронежского кристаллического массива создает в пунктах наблюдения широкополосный, непрерывный, однородный квазистационарный сейсмический процесс – сейсмический фон, который обладает свойствами Гауссовского белого шума (ГБШ), а его основной характеристикой на выбранном интервале записи является осредненный амплитудный спектр.

Проблема при использовании осредненного амплитудного спектра сейсмического фона на платформенной территории является высокий уровень помех, превышающий амплитуды фоновых колебаний в несколько раз. При этом использование стандартных статистических методов для его расчета, которые применяются для оценки характеристик полезного сигнала на фоне действия шума, обладающего свойством ГБШ, в данном случае не дают надежного результата. Так как «сигналом» является именно ГБШ с относительно низкими амплитудами, спектр которого нужно получить на фоне действия любых по амплитуде помех длительностью ограниченной по времени, которые прежде выступали как «сигналы». Использование селекции «хороших» фрагментов с минимальным уровнем помех в зависимости от их уровня и количества полученный осредненный амплитудный спектр не гарантирован от присутствия в нём трудно учитываемых составляющих помех, что снижает достоверность оценки и вносит искажения в его последующую геолого-геофизическую интерпретацию. Даже если потратить большее расчетного времени на использования вместо среднего значения медианы или моды кардинально проблему степени достоверности оценки не решает. Для получения объективной оценки сейсмического фона в пункте наблюдения необходимо создать инструментарий, позволяющий получать её максимально близкой к

осредненному амплитудному спектру сейсмического фона без помех не используя предварительную селекцию фрагментов.

Используя процессор обработки сигналов программы WSG [3, 4], рассмотрим моделирование сейсмического фона с помощью Гауссовского белого шума и на его основе представим несколько способов получения оценки осредненного амплитудного спектра. На рис. 1а представлена запись ГБШ, моделирующая вертикальную составляющую сейсмического фона (без помех) на выбранном интервале. Разделим его на статистически значимое число фрагментов равной длительности с 50% перекрытием. Рассчитаем для каждого фрагмента амплитудный спектр с использованием преобразования Фурье и весовым окном Хемминга, коррекцией потери площади и сглаживанием его по 7-ми значениям спектральных амплитуд (осреднение спектральной амплитуды с 3-мя до и 3-мя после).



1 – Амплитудный спектр 5-ти минутного фрагмента; Амплитудные спектры, полученные по 100

5-ти минутным фрагментам с 50% перекрытием амплитудным спектрам: 2 – осредненный;

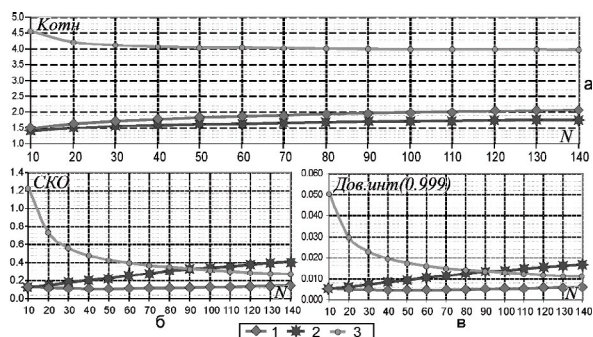
3 – минимальный; 4 – максимальный; 5 – среднеквадратический.

Рисунок 1 – Результат моделирования 6-ти часовой записи микросейсмического фона (а), сравнение амплитудных спектров статистических характеристик с мгновенным и осредненным (б) и наличие «линейной» зависимости между ними (в)

Представляя амплитуду каждой гармоники как случайную величину, изменяющуюся от одного к другому фрагменту, рассчитаем для них среднее, минимальное и максимальное значение, а также среднеквадратическое отклонение. В результате получим ранжированные по частоте (гармонике) ряды средних, максимальных, минимальных и среднеквадратических значений спектральных амплитуд. Ряд средних

значений является оцениваемым осредненным амплитудным спектром, а ряды максимальных, минимальных и среднеквадратических значений будем называть максимальным, минимальным и среднеквадратическим амплитудным спектром соответственно. На рис. 1б представлены амплитудные спектры статистических характеристик, которые получены по 100 5-ти минутным фрагментам. Для расчета среднеквадратического амплитудного спектра для каждой гармоники использовалась формула разности моментов, которая хорошо адаптируется под последовательный алгоритм расчета, также применявшийся при расчете максимального и минимального спектра. На каждом шаге попарно проводилось сравнение амплитуд гармоник между амплитудным спектром нового фрагмента и минимальным и максимальным спектром с предыдущего шага. В результате выбора минимальных и максимальных амплитуд гармоник получались новые минимальные и максимальные ряды, которые после сглаживания по 7 значениям становились минимальным и максимальным амплитудным спектром этого шага. На рис. 1в показано, что рассматриваемые амплитудные спектры можно использовать в качестве «оценок» осредненного амплитудного спектра ГБШ при использовании простого коэффициента преобразования, значение которого зависит от числа использованных для расчета фрагментов.

Для определения точности получаемых «оценок» и их зависимости от числа фрагментов вычислим отношения амплитудных спектров статистических характеристик оценок с осредненным спектром (деление больших на меньшие значения) для разного числа фрагментов. Полученные по каждой частоте отношения усредним в диапазоне частот 0.1-20 Гц и рассчитаем для среднего коэффициента преобразования среднеквадратическое отклонение (СКО) и доверительный интервал с уровнем доверия 0.999. На рис. 2а представлены зависимости средних значений отношений от числа N используемых для расчета фрагментов. Зависимость среднеквадратического отклонения полученных отношений от числа фрагментов представлена на рис. 2б. При этом доверительный интервал, приведенный на рис. 2в и рассчитанный для записи с частотой дискретизации 50 Отсч/с, более чем в 20 раз меньше СКО.



Отношения амплитудных спектров: 1 – осредненный к минимальному; 2 – максимальный к осредненному; 3 – осредненный к среднеквадратическому

Рисунок 2 – Зависимости масштабирующих коэффициентов для оценки осредненного амплитудного спектра модели микросейсмического фона (а), их статистических оценок: среднеквадратического отклонения (б) и доверительного интервала (в) от числа фрагментов используемых для расчета

Как видно из рис. 2, начиная с числа фрагментов 70 полученные зависимости коэффициентов преобразования (рис. 2а) становятся практически линейными, а зависимость доверительного интервала коэффициента минимального амплитудного спектра (рис. 2в) при этом числе фрагментов имеет небольшой минимум. То есть для получения максимально близкой «оценки» интервал исследуемой записи достаточно разделить на 70 и более фрагментов, понимая, что увеличение числа фрагментов не приносит существенного выигрыша в точности, а только удлиняет время обработки. Поэтому для практического использования оптимальное число фрагментов может находиться в пределах 70-100.

Таким образом, для оценки осредненного амплитудного спектра ГБШ на выбранном интервале, можно использовать любой из вариантов рассмотренных выше оценок с соответствующим числу фрагментов коэффициентом преобразования, и даже сглаженный мгновенный амплитудный спектр любого из фрагментов. Обоснованность использования ГБШ в качестве модели сейсмического фона подтверждает сравнение коэффициента преобразования для среднеквадратической оценки по смоделированной записи ГБШ с соотношением, полученным по реальной записи [2], которое для 100 фрагментов также равно 4. При этом среднеквадратическая оценка реальной записи имела отличия от осредненного амплитудного спектра в диапазонах частот присутствующих на записи помех.

В случае анализа интервала с неизвестной записью, при совпадении всех этих оценок с осредненным амплитудным спектром можно однознач-

но утверждать, что эта запись является ГБШ. Присутствие на интервале записи помехи (реальная запись) в ограниченном диапазоне частот приведет к расхождению значений «оценок» на этих частотах. Степень отличия будет зависеть от интенсивности «помехи» и её амплитудной стабильности и повторяемости на интервале записи. Тогда различия, возникающие в «оценках», можно использовать для характеристики «помех» на исследуемом интервале записи. Применяя алгоритм расчета к реальной записи (рис. 3) можно получить «оценки», соотношения между которыми позволят охарактеризовать на выбранном интервале сейсмическое поле, создаваемое нестационарными источниками.

От типа используемой «оценки» можно предполагать степень влияния на них помех. Помехи на записи присутствуют не постоянно в отличие от сейсмического фона, это гарантирует отсутствие в оценки MIN составляющих помех, а вот составляющие техногенной нагрузки в дневное время присутствуют. Оценка MIN для записи является её постоянной составляющей на исследуемом интервале, для интервала с минимальным уровнем техногенной нагрузки (ночь), характеризовать сейсмический фон в пункте наблюдения.

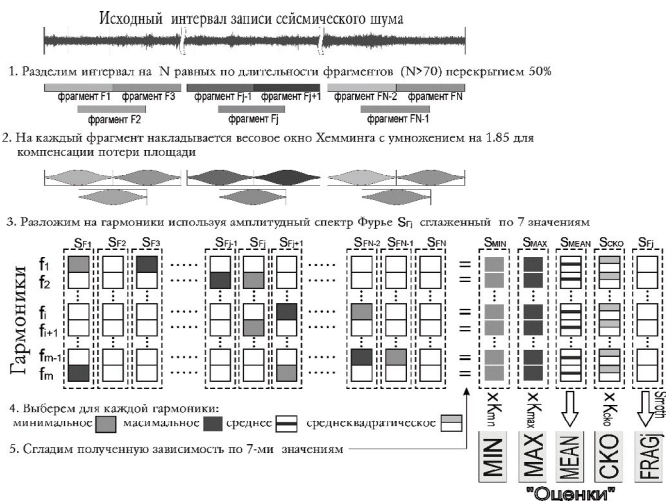


Рисунок 3 – Алгоритм вычисления «Оценок» для реальной записи

Учет действия природного аналога техногенной нагрузки сейсмических бурь затруднен и не позволяет однозначно выбрать интервал времени, когда буря отсутствует, что усложняет получение значений фоновых колебаний в диапазоне частот 0.1-0.5 Гц. При решении большинства задач этот диапазон не используется, но помнить об этом надо.

Для примера рассмотрим два 6 часовых интервала записей вертикальных составляющих сейсмической станции «Воронеж» (VORR): ночь - утро (рис. 9а) и день- вечер (рис. 9б). Для лучшего понимания и наглядности сравним оценки, полученные для разных по длительности интервалов, включающих 100 и 144 фрагментов, причем первый интервал полностью содержится во втором. На рис. 4 видно, что записи различаются уровнем постоянной составляющей, которая ночью (а) существенно меньше, чем днем (б). Амплитуды непостоянных составляющих на записях сопоставимы, но «нестабильность» воздействия ночной записи выглядит более сильным, чем дневной.

На рис. 5 представлены Амплитудные спектры рассмотренных выше статистических оценок для двух вариантов длин интервалов (100 и 144 фрагмента) в ночное и дневное время. На рис. 5а амплитудные спектры сгруппированы по отдельным интервалам, приведенным на рис. 4, а на рис. 5б оценки для разных интервалов сравниваются между собой.

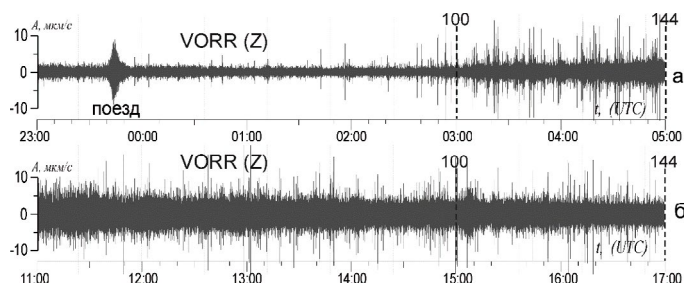
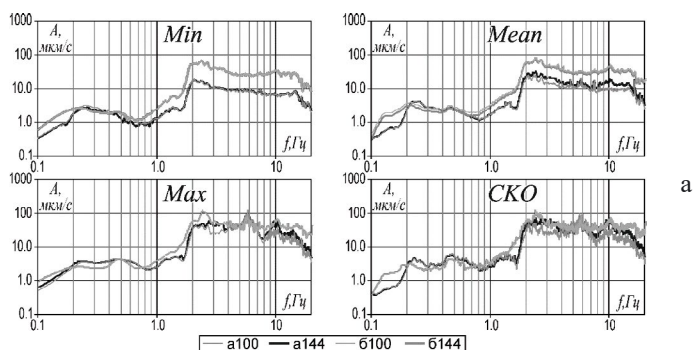
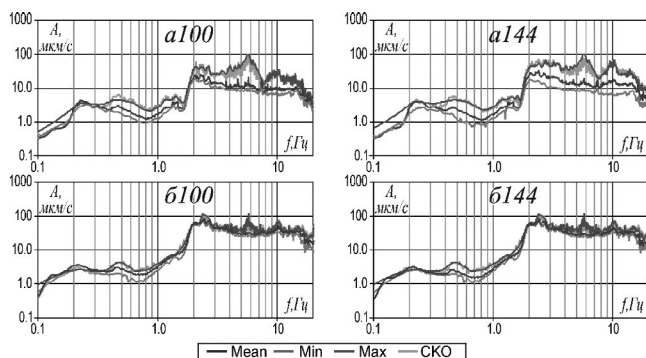


Рисунок 4 – Шести часовые интервалы записей вертикальных составляющих сейсмической станции «Воронеж» ночь-утро (а) и день-вечер (б)





б

Рисунок 5 – Амплитудные спектры статистических оценок, сгруппированные по интервалам (а) и по типу оценки (б) для интервалов реальной записи приведенных на рис. 4

Как видно из рис. 5а для каждого интервала реальной записи (рис. 4) оценки располагаются в одинаковой последовательности. Снизу амплитудный спектр минимальных значений, в середине средних и сверху максимальный и среднеквадратический. Причем максимальный и среднеквадратический имеют близкие амплитуды, т.е. имеют несущественные различия, поэтому можно ограничиться максимальным амплитудным спектром, который легче считается и имеет более сглаженную форму. Таким образом, для амплитудно-частотной характеристики стационарной и нестационарной составляющих сейсмического поля в пункте наблюдения на выбранном интервале времени можно использовать как сами скорректированные максимальные, минимальные и средние амплитудные спектры, так и их отношения.

Для получения характеристики нестационарных составляющих сравним оценки, полученные на разных интервалах. Как видно из рис. 5б минимальные оценки сгруппировались по «времени суток», т.е. минимальный амплитудный спектр для короткого и полного интервала практически не отличаются, а между днем и ночью различаются существенно. Как было сказано выше, это связано с присутствием на записях днем техногенной нагрузки, тогда их разница однозначно определит её уровень в пункте наблюдения. Коэффициент вариаций техногенной нагрузки, влияющий на степень комфортности сейсмических условий можно получить делением её уровня на значения фоновых амплитуд.

Аналогично для помех, если рассматривать «оценки» MAX и MIN, по их разнице можно получить характеристику максимального воздействия («мощность») помех на выбранном интервале. Сравнив её со значениями фоновых амплитуд можно получить коэффициент не стационарности помех.

Оценка MEAN на рис. 5 располагается между оценками MIN и MAX, причем её положений относительно этих границ не одинаково. Это связано с особенностью «поведения» помехи на выбранном интервале, что может быть дополнительной характеристикой, определяющей «стабильность» её поведения. Для этого надо рассмотреть отношение мощности MEAN к полной мощности помех. Получаемая величина ограничена диапазоном от 0 до 1, где приближение к 0 показывает не стабильное (одиночное или раз-но амплитудное) поведение помехи на интервале. В табл. 1 приведены возможные параметры для оценки составляющих сейсмического поля, рас-считанные по характеристикам интервала записи.

Таблица 1 – Варианты параметров стационарной и не стационарной со-ставляющих сейсмического поля и их расчет с использованием оценок для выбранного интервала записи

№	Имя	Описание	Формула	Примечание
1	2	3	4	5
1	Параметры стационарной и нестационарной составляющих на анали-зируемом интервале сейсмической записи и в рабочей полосе частот			
1.1	U_f	Уровень фоновой (природ-ной) составляющей в пункте наблюдения ночью	MIN(night)	Для ночного интервала
1.2	U_d	Уровень постоянной состав-ляющей в пункте наблюде-ния днем	MIN(day)	Для дневного интервала
1.3	U_{tn}	Уровень техногенной на-грузки в пункте наблюдения за текущие сутки	$U_d - U_f$	В течении одних суток
1.4	V_{tn}	Коэффициент вариаций тех-ногенной нагрузки за теку-щие сутки	$(U_d - U_f) / U_f$	В течении одних суток
1.5	U_p	Уровень помех различного генезиса на выбранном ин-тервале реальной записи	MAX – MIN	На выбран-ном интерва-ле
1.6	V_p	Коэффициент не стационар-ности интервала записи	$(MAX - MIN) / MIN$	На выбран-ном интерва-ле
1.7	Q_p	Коэффициент стабильности амплитуд на интервале за-писи	$\frac{(MEAN - MIN)}{(MAX - MIN)}$	Значение: [0,1]
2	Характеристики нестационарной составляющей отдельного фраг-мента на анализируемом интервале сейсмической записи в рабочей			

полосе частот				
2.1	U_{Fnp}	Уровень помех различного генезиса на текущем фрагменте реальной записи	FRAGn – MIN	Для n-ого фрагмента на выбранном интервале
2.2	V_{Fnp}	Коэффициент не стационарности фрагмента записи	$(\text{FRAGn} - \text{MIN}) / \text{MIN}$	
2.3	Q_{Fnp}	Коэффициент стабильности амплитуд на фрагменте записи	$(\text{FRAGn} - \text{MIN}) / (\text{MAX} - \text{MIN})$	

В табл. 1 в пункте 2 используя оценку FRAGj (сглаженный амплитудный спектр отдельного фрагмента выбранного из интервала анализируемой записи) получены аналогичные параметры, которые можно использовать для характеристики отдельных источников помех действующих в пределах интервала. Это позволяет более детально оценивать распределение действий помех по временной шкале, т.к. для получения качественных оценок минимальная длительность интервала составляет 3 часа, что позволяет в сутки получить всего 6 значений, которых достаточно для изучения воздействий от техногенной нагрузки.

При необходимости оценить уровень сейсмического фона в населенном пункте относительно «мирового» уровня можно использовать нижнюю границу NLNM сейсмического шума модели Петерсона [5], которая получена по записям мировой сейсмологической сети и отражает минимальный уровень сейсмического фона на Земле. На рис. 6 приведены модели нижней и верхней границы Петерсона с амплитудными спектрами дневных и ночных фоновых колебаний на сеймостанциях ВКМ, приведенные (преобразованные) к размерности модели $\{(m^2/c^4)/\Gamma\}$ спектра мощности ускорения относительно уровня 1 м/с^2 .

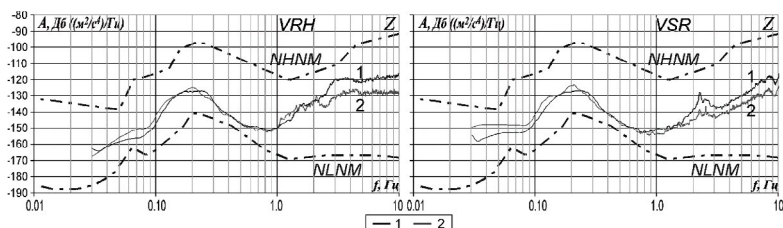


Рисунок 6 – Сравнение осредненных амплитудных спектров свободных от помех 5-ти минутных фрагментов в дневное (1) и ночное (2) время на станциях региональной сети «Новохоперск» (VRH) и «Сторожевое» (VSR) с моделями границ сейсмического шума Петерсона NLNM и NNNM

Как видно из рис. 6 в размерности модели сейсмического шума Петерсона фоновые колебания на обеих сеймостанциях опускается ниже

минус 150 Дб. Поэтому при использовании сейсмического поля для решения экологических задач необходимо, чтобы собственный шум сейсмометрического канала используемого оборудования во всей рабочей полосе частот канала была ниже минус 155 Дб, а лучше ниже его границы NLNM в рабочей полосе частот. В случае использования границ Петерсона, в качестве «нулевого» уровня, нужно не забыть преобразовать их к размерности используемого амплитудного спектра.

Таким образом, с использованием моделирования сейсмического фона Гауссовским белым шумом разработана группа надежных статистических оценок его осредненного амплитудного спектра и алгоритм их расчета. На основе расхождений оценок, возникающих для реальных записей, включающих нестационарные составляющие любого генезиса, разработан набор числовых параметров, характеризующие как стационарную составляющую сейсмического поля населенного пункта, так и не стационарные. В дальнейшем при использовании их совместно с другими экологическими методами, можно разработать критерии оценки по степени комфортности жизнедеятельности в них населения.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования [1, 2] показали, что фоновое сейсмическое поле может быть важным, недостающим элементом в структуре геофизических экологических функций литосферы, который откроет широкие горизонты использования сейсмического поля и начнет новый этап в его развитии в экологии. Разработанные числовые параметры, позволят получать объективную характеристику составляющих сейсмического поля в населенных пунктах, и на основе их совместного использования с другими экологическими методами могут положить начало разработке для сейсмического поля критериев комфортности жизнедеятельности в них населения.

Однако в «бочке меда» всегда есть «ложка дегтя», размер которой обратно ограничивается техническими возможностями конкретного исследователя. Основной проблемой использования описанного выше метода являются требуемые характеристики сейсмологического оборудования. Цифровой сейсмометрический канал должен обеспечить надежную регистрацию колебаний фонового сейсмического поля. Для использования на территории ВКМ, собственный шум канала должен быть ниже минус 155 Дб в размерности модели сейсмического шума Петерсона.

Одновременно с этим оборудование должно иметь достаточный входной динамический диапазон по амплитуде, для возможности одновременной регистрации «больших» и «маленьких» сигналов без зашкаливания. Это в состоянии обеспечить регистратор с эффективной разрядностью АЦП не менее 24-х разрядов. Проблема уровня собственного шума при современном развитии аналогово-цифровой техники определяется, в основ-

ном, характеристиками используемых сейсμοприемников. Однако совмещение в одном корпусе хорошего сейсмометра и регистратора приводит к увеличению уровня собственного шума канала, делая его уже не пригодным для выполнения таких работ по сравнению с отдельным вариантом их использования.

Также некоторой проблемой массового использования является отсутствие всякой возможности поверки сейсмологического оборудования для самого главного низко амплитудного сигнала, т.к. имеющиеся стенды «заточены» для сертификации и поверки сейсμοприемников «сильных движений». Это приводит к тому, что, то оборудование, которое позволяет выполнять исследования, не является средством измерения в классическом смысле. Проверка его важных параметров может быть произведена только методом сверки со стационарно расположенным в шахте сейсмологическим оборудованием (например, сейсмостанция «Обнинск»). На сверке проверяется совпадение амплитудных спектров одномоментных фрагментов записи в диапазоне частот пересечения их столообразных амплитудно-частотных характеристик, для случая разнотипного оборудования, и полного их совпадения в рабочей полосе частот для однотипного оборудования. Хотя если рассматривать только относительные параметры, а не размерные, то правильный результат можно получить без использования предварительной коррекции данных по АЧХ, т.е. просто в отсчетах исходной записи, но при этом условие низкого собственного шума должно выполняться.

Конечно стоимость сейсмологического оборудования выше, чем «измерители вибрации» на рабочих местах. Однако этот не большой недостаток перекрываются возможностями работы сейсмологического оборудования в мониторинговом (длительном) режиме с передачей данных в центр обработки, без какого либо участия оператора, т.е. автоматически, используя сеть Интернет. По полученным записям параллельно можно изучать природную составляющую сейсмического поля (местную сейсмичность). Возможность сохранения всех записей позволяет, в случае необходимости, обработать данные повторно и целенаправленно при исследовании или отработке новых перспективных методов исследований.

Таким образом, развитие методов сейсмического поля для выполнения экологических задач на платформенной территории может являться «локомотивом» развития региональной сети сейсмологических станций позволяющей обеспечить комплексный подход к изучению сейсмоэкологической обстановки на экономически развитой территории ЦЧР, расположенной в пределах ВКМ, с целью оценки и контроля изменений условий жизнедеятельности его жителей. В свете развития нового подхода к повышению качества жизни населения, предотвращения крупномасштабных

ЧС, заботой о его здоровье является актуальной задачей, поставленной в рамках Национальных проектов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ и БРФФИ в рамках научного проекта № 20-55-00010

Список литературы

1. Сафронич, И.Н. Сейсмическое поле в структуре экологической геологии / И.Н.Сафронич, В.А. Бударина, А.И.Павловский, М.А. Ефременко //

2. Сафронич, И.Н. Фоновое сейсмическое поле – «природная» составляющая геофизической экологической функции литосферы и его свойства на территории Воронежского кристаллического массива / И.Н.Сафронич, Л.И. Надёжка, М.А. Ефременко //

3. Сафронич, И. Н. Особенности последней версии процессора обработки сигналов в программном комплексе WSG и возможности его использования в научно-исследовательской работе / И. Н. Сафронич, С. А. Красилов, С. И. Колесникова, А.В.Савенков // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных.– Обнинск: ГС РАН, 2016.– С. 380-389.

4. Сафронич, И. Н. Анализ данных в частотной области с использованием процессора обработки сигналов программного комплекса WSG / И. Н. Сафронич, С. А. Красилов, И.М. Колесников, С. И. Колесникова // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных.– Обнинск: ГС РАН, 2017.– С. 386-395.

5. Jon Peterson, Observation and Modeling of Seismic Background Noise. Open-File Report 93-322, Albuquerque, New Mexico, 1993 year, 42 pp.

METHODOLOGICAL APPROACH TO THE CALCULATION OF NUMERICAL PARAMETERS OF THE ANTHROPOGENIC COMPONENT OF THE SEISMIC FIELD AT THE OBSERVATION POINT

I.N.Safronich, igor@geophys.vsu.ru.

Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences, Voronezh, Russia

Annotation. The paper considers a methodological approach based on the use of estimates of the amplitude spectrum of the seismic field to isolate its anthropogenic component. Numerical parameters have been developed that allow us to obtain an objective characteristic of the components of the seismic field in settlements. This will allow, together with other environmental methods, to begin the development of criteria for the comfort of life in them of the population for the seismic field.

Keywords. background seismic field, seismic background, Gaussian white noise, estimates of the amplitude spectrum of the GBS, numerical parameters of the components of the seismic field.

УДК 550.34

ХАРАКТЕР СЕЙСМИЧНОСТИ ТЕХНОГЕННО-НАГРУЖЕННОЙ ЛИСКИНСКОЙ СЕЙСМИЧЕСКИ АКТИВНОЙ ЗОНЫ ВОРОНЕЖ- СКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА

¹²Семенов А.Е. *nadezhka@geophys.vsu.ru*

¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Воронеж, Россия;

²ФБОУ ВО «Воронежский государственный университет», г. Воронеж,
Россия

Аннотация: Дана краткая характеристика Лискинской сейсмически активной зоны. Показано, что значительная сейсмическая нагрузка, вызванная промышленными взрывами в многочисленных карьерах региона может стать причиной наведенной сейсмичности. Делается вывод, что современная сейсмическая активность Лискинской зоны может быть обусловлена как природными процессами, так и техногенными воздействиями.

Ключевые слова: Лискинская сейсмически активная зона, промышленные взрывы, сейсмическая энергия, сейсмическая активность, наведенная сейсмичность.

Введение

В настоящее время увеличиваются темпы урбанизации равнинной части России, строятся новые блоки АЭС, активно развивается горнодобывающая промышленность, ведется интенсивная высотная застройка крупных городских агломераций [1-6]. В этой ситуации проблема оценки сейсмической безопасности территории равнинной части России является важной и актуальной. Особую остроту эта проблема приобретает для техногенно нагруженных территорий с высокой плотностью населения. Одной из наиболее техногенно-нагруженных территорий равнинной части России является территория Центрально-Черноземного экономического района (в геологическом плане – территория Воронежского кристаллического массива), которая по современным данным не является сейсмически пассивной [7-8]. За последние 25 лет зарегистрировано около 600 землетрясений, энергетический класс которых K_p от 2.0 до 12.0.

31.01.2000 года на юге Воронежской области произошло пятибалльное Никольское землетрясение [9]. В работах [7, 8] было показано, что на территории Воронежского кристаллического массива (ВКМ) наблюдается

сейсмическая активность двух типов: упорядоченная (структурированная) и рассеянная. Структурированная сейсмичность проявляется в виде приуроченности эпицентров землетрясений к тектоническим нарушениям или образующих скопления - «пятна». Рассеянная сейсмичность характеризуется тем, что эпицентры не образуют выраженных скоплений и не обнаруживается четкая приуроченность их к тектоническим нарушениям. В работе [7] показано, что рассеянная сейсмичность характерна, в основном, для Хоперского мегаблока ВКМ. Здесь единичные эпицентры, как правило, приурочены к интрузиям основного и ультраосновного состава.

Вместе с тем, в регионе функционирует более 20 промышленных карьеров в которых производится добыча полезных ископаемых открытым способом [12]. Кумулятивный сейсмический эффект короткозамедленных взрывов в карьерах по добыче полезных ископаемых в кристаллических породах (карьеры «Железногорский», «Лебединский», «Стойленский» - добывается железная руда; «Павловский», «Тихий Дон» - добывается гранитный щебень), представляют собой сейсмические события, магнитуда которых составляет 2.2-3.3 [12]. Как показывают наблюдения, такое сейсмическое воздействие значительно влияет на состояние геологической среды [12].

Особенно, это может существенно осложнить характер природной сейсмической активности в активных зонах.

Одной из таких зон в пределах ВКМ является Лискинская сейсмически активная зона. Оценка природы современной сейсмической активности зоны (природная или наведенная сейсмичность), является чрезвычайно важной так как зона пространственно расположена всего в 40 км от Нововоронежской АЭС и характеризуется значительной сейсмической активностью (рис. 1.).

Краткая характеристика Лискинской сейсмически активной зоны и некоторые методические подходы оценки природы ее сейсмичности

Как указывалось выше, на территории Воронежского кристаллического массива наиболее активной является Лискинская сейсмически активная зона [7, 8, 10, 11].

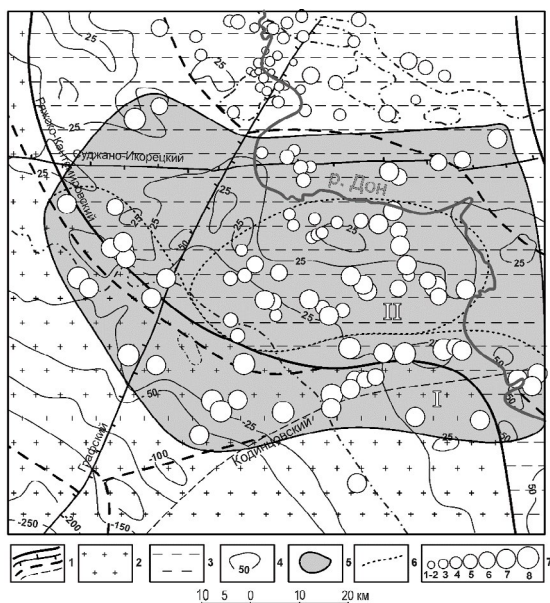


Рисунок 1. – Структурное положение Лискинской сейсмически активной зоны

1 – Разломы разного ранга; 2 – Россошанский массив; 3 – Лосевская шовная зона; 4 – изолинии рельефа фундамента; 5 – граница сейсмогенной зоны; 6 – границы областей повышенной лотности эпицентров землетрясений; 7 – эпицентры землетрясений

По геодинамической позиции Лискинская сейсмически активная зона разграничивает структуры с существенно разным геологическим строением и историей развития: Россошанскую купольную структуру и центральную часть Лосевской шовной зоны [10].

По геологическим и геофизическим данным Лискинская сейсмически активная зона уникальная. Это наиболее приподнятая часть эрозионного среза докембрия, рельеф которой существенно дифференцирован. На общем положительном фоне выделяются ряд приподнятых локальных поднятий (до 50 м). Мощность осадочного чехла не превышает 150 м и значительно варьирует.

Зону пересекают крупные тектонические нарушения, из которых следует особо выделить дугообразный Ряжско-Кантемировский коромантийный разлом I ранга, разграничивающий в пределах ВКМ мегаблок КМА (Курский) и Лосевскую шовную зону, Суджанско-Икоричский, Графский - тектонические нарушения второго ранга и Кодинцовский разлом

третьего ранга. Неоген-четвертичные структуры – Окско-Донскую впадину и Среднерусскую возвышенность разграничивает крупное тектоническое нарушение, которое простирается согласно руслу р. Дон [7]. Таким образом, территория Лискинской сейсмически активной зоны подвержена значительному воздействию тектонических нарушений. Сложен эрозионный срез докембрия Лискинской зоны гнейсами обоянской серии, но разной ассоциации: север – донской, юг – росошанской.

Кроме того, земная кора в пределах Лискинской сейсмоактивной зоны (ЛСАЗ) уникальна. На относительно небольшой площади выделяется 4 типа земной коры: metabазитовый, базито-диоритовый, гранито-диоритовый, гранито-диорито-базитовый и гранитоидный (рис. 2). Блоки с различным типом земной коры дискордантны к контактирующим структурам и имеют размеры от 25 до 3 км перпендикулярно простиранию. Аналогичного района в пределах ВКМ больше нет. В целом, мощность земной коры в пределах ЛСАЗ составляет 42.5-45.0 км [8].

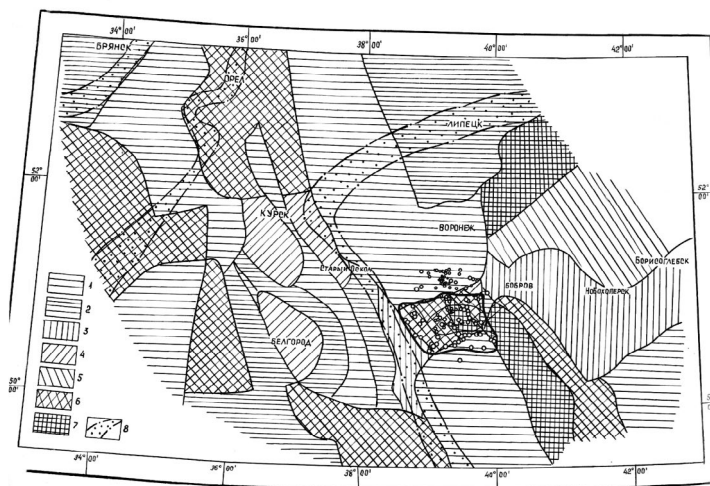


Рисунок 2 – Схема типов земной коры Воронежского кристаллического массива по геофизическим данным.

Типы земной коры: 1 – гранитоидный; 2 – гранито-диоритовый; 3 – диоритовый; 4 – гранито-базитовый; 5 – диорито-базитовый; 6 – гранито-диорито-базитовый; 7 – metabазитовый; 8 – границы геоблоков; номера с 1,1 по 7,3 соответствуют подтипам земной

В геофизическом плане южной части этой зоны соответствует центральная часть S-образной положительной магнитной аномалии. В гравитационном плане этой зоне соответствует – зона повышенного горизон-

тального градиента и локальная субгоризонтально отрицательной аномалии.

Особый интерес, в дополнении к сказанному, представляет характер поведения русла реки Дон. В пределах зоны дважды меняется положение русла р. Дон (рис. 1). В северной части р. Дон практически под углом 90° поворачивает на восток, течет более 30 км в широтном направлении, а затем также, практически под углом 90° поворачивает на юг. Река Дон как бы огибает центральную наиболее сейсмически активную часть Лискинской зоны.

Из сказанного следует, что Лискинская сейсмически активная зона является уникальным геологическим объектом в пределах ВКМ, как по геодинамической позиции, так и по геологическому строению земной коры.

Уникальна она еще и по количеству произошедших в ее пределах землетрясений. За 25 летний период наблюдений, в пределах зоны зарегистрировано 98 землетрясений, в основном, 4-8 энергетических классов. Плотность эпицентров землетрясений на некоторых участках достигает 5 на 100 км^2 . По плотности эпицентров землетрясений в центре Лискинской зоны выделяется в виде овала субширотная область с высокой плотностью эпицентров землетрясений. Фактически эта область размером $50 \times 20 \text{ км}$ определяет форму всей зоны и играет, по видимому, основную роль в ее формировании.

Учитывая относительно высокую сейсмическую активность и странственное положение Лискинской сейсмически активной зоны, а также активную деятельность горнодобывающих предприятий, возникает вопрос: наблюдаемая сейсмичность является природной или присутствует и наведенная сейсмичность, обусловленная взрывами в крупных карьерах?

Как свидетельствуют данные сейсмологического мониторинга, при одном взрыве в крупных карьерах выделяется сейсмическая энергия от 10^7 до 10^{10} Дж. В течение одного года происходит в среднем около 80 взрывов в крупных карьерах. При этом значение выделившейся при взрывах сейсмической энергии составляет в среднем в течение года $5 \cdot 10^{10}$ Дж [12].

Лискинская сейсмически активная зона находится под постоянным воздействием с юга сейсмической энергии, вызванной взрывами в карьерах «Павловский» и «Тихий Дон», в которых при проведении одного короткозамедленного взрыва используется 100-300 т взрывчатого вещества (ВВ). С северо-запада воздействует на литосферу зоны поток сейсмической энергии, возникающий при производстве промышленных взрывов в карьерах «Железнодорожский», «Лебединский» и «Стойленский». В этих карьерах при производстве одного промышленного взрыва используется от 300 до 2500 т ВВ.

Таким образом, Лискинская сейсмически активная зона находится под постоянным воздействием значительного потока сейсмической энергии. Сейсмическая энергия распространяясь в нелинейной и неоднородной геологической среде, накапливается на неоднородностях, в частности в зонах тектонических нарушений, создает дополнительные напряжения и деформации [13]. Последние могут стать причиной землетрясений – наведенной сейсмичности. Учитывая дифференцированность земной коры Лискинской зоны, можно предположить, что природная сейсмическая активность может быть осложнена наведенной сейсмичностью. Этому дополнительным подтверждением служит распределение по времени производства взрывных работ и возникновения землетрясений (рис. 3).

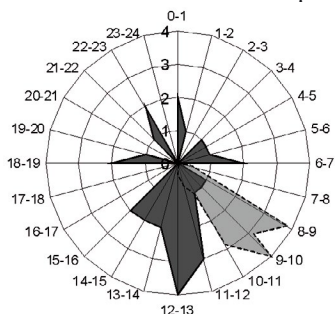


Рисунок 3 – Диаграмма распределения количества зарегистрированных землетрясений и взрывов в крупных карьерах по времени суток за период 2014-2016 гг. (темный цвет – землетрясения, светлый – взрывы)

Как видно из рисунка в дневное время происходит максимальное число землетрясений, спустя несколько часов после производства взрывов в крупных карьерах. Кроме того, получены экспериментальные доказательства, которые показывают, что после взрывов в Павловском карьере через 8 часов в Лискинской зоне зарегистрировано 5 низкомagnitudeных землетрясения [12].

Все эти данные свидетельствуют что воздействие промышленных взрывов может осложнять природную сейсмическую активность.

Выводы

Современная сейсмическая активность Лискинской зоны может быть обусловлена как природными процессами, так и техногенным воздействием.

Учитывая, что Лискинская зона расположена в 50 км зоне вокруг НВАЭС, она может оказывать существенное влияние на сейсмические условия ближней зоны размещения Нововоронежской АЭС.

Принимая во внимание возможность наведенной сейсмичности, необходимо при оценке сейсмических условий экологически ответственных объектов, учитывать ее потенциальную возможность.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №20-55-00010.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сидоров В.А., Кузьмин Ю.О. Современные движения земной коры осадочных бассейнов// М.: Наука. 183с
2. Никонов А.А. Человек воздействует на земную кору // М.: Знание, 1980. 48 с.
3. Адушкин А.В., С.Б.Тутунтаев Техногенные процессы в земной коре (опасности и катастрофы) // М. ИНЭК 2005. 252 с.
4. Адушкин А.В., Г.Г. Кочерян, И.А. Санина О вкладе взрывных работ в развитие сейсμοдеформационных процессов в регионе// ДАН. 2011, т. 441, №1, С. 92-94.
5. Николаев А.В. Проблемы наведенной сейсмичности// Сб. Наведенная сейсмичность // М.: Наука. 1994, С. 5-15.
6. Николаев А.В., М.Г.Савин Сейсмическая безопасность новые горизонты// Вестник ДВО РАН, 2014, №4, С. 87-95.
7. Семенов А.Е., Надежка Л.И., Пивоваров С.П. О связи современной сейсмической активности со структурными особенностями кристаллической коры и верхов мантии Воронежского кристаллического массива // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы десятой Международной школы. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2015. С. 290-294.
8. Семенов А.Е., Надежка Л.И. Некоторые особенности глубинного строения и современная сейсмическая активность Воронежского кристаллического массива // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XII Международной сейсмологической школы. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. С. 324-327.
9. Надежка Л.И., Сафронич И.Н., Пивоваров С.П. и др. Никольское землетрясение 31 марта 2000 года с $K_p=10.8$, $IO=5$ (Воронежская область) // Землетрясения Северной Евразии в 2000 году: сборник научных работ. Обнинск: 2006. – С. 245-253.
10. Семенов А.Е. Золототрубова Э.И., Надежка Л.И. Геодинамическая позиция Лискинской сейсмически активной зоны Воронежского кристаллического массива // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XI Международной сейсмологической школы. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2016. С. 311-314.

11. А.Е. Семенов, Э.И. Золототрубова, Л.И. Надёжка, М.А. Ефременко Геолого-геофизическая характеристика Лискинской сейсмически активной зоны // Глубинное строение, минералогия, современная геодинамика и сейсмичность Восточно-Европейской платформы и сопредельных регионов. Материалы XX Всероссийской конференции с международным участием.— Воронеж, 2016.— С. 349-353.

12. Косинова И.И. Критерии экологических оценок сейсмических воздействий, возникающих при производстве промышленных взрывов // Косинова И.И., Надёжка Л.И., Семенов А.Е., Сафронич И.Н., Ежова И.Т., Силкин К.Ю., Пивовров С.П.. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2021. №1. С. 82-93.

13. Адушкин В.В., Качаргин Г.Т., Санина И.А. О вкладе взрывных работ в развитие сейсмодеоформационных процессов в регионе // Доклады академии наук, 2011. Том 441, №1. С. 92-94.

THE NATURE OF SEISMICITY OF THE TECHNOGENICALLY- LOADED LISKIN SEISMICALLY ACTIVE ZONE OF THE VORO- NEZH CRYSTAL MASSIF

¹²A.E. Semenov nadezhka@geophys.vsu.ru

¹ Federal Research Center "Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences", Voronezh, Russia;

² Voronezh State University, Voronezh, Russia

Abstract: A brief description of the Liskin seismically active zone is given. It is shown that a significant seismic load caused by industrial explosions in numerous quarries in the region can cause induced seismicity. It is concluded that the current seismic activity of the Liskin zone can be caused by both natural processes and man-made impacts.

Keywords: Liskin seismically active zone, industrial explosions, seismic energy, seismic activity, induced seismicity.

УДК 556

ЭКОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛИПЕЦКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА

Ткаченко Н.Н., Косинова И.И.*

РОООО ОЗПР «Российское экологическое общество» по Липецкой области *ФГБОУ ВО Воронежский государственный университет

Аннотация. Целью работы явилось изучение причин ухудшения состояния поверхностных вод в пределах Липецкого промышленного

района, а также выявление и изучение очагов и связанных с ними ореолов нитратного загрязнения поверхностных вод.

Ключевые слова: Поверхностные воды, нитраты, нитриты, нитратное загрязнение, концентрация, очаги загрязнения, соединения азота, нитрификации, денитрификации.

Район расположен на правобережье р. Воронеж и охватывает территорию областного центра – г. Липецк и прилегающего Липецкого района.

С севера граница проходит по левому берегу р. Кузьминка; с востока – по р. Воронеж; с запада - по линии, проходящей вблизи населенных пунктов Частая Дубрава, Плоская Кузьминка, Вешаловка; с юга – по линии, проходящей вблизи населенных пунктов Студеные Хутора, Подгорное. Общая площадь исследований составляет около 700 км².

Ведущая отрасль промышленности – черная металлургия – сосредоточена в г.Липецке. Это Новолипецкий металлургический комбинат (НЛМК), металлургическая компания «Свободный Сокол», завод «Центролит». На побочных продуктах коксохимического производства развита химическая промышленность.

Предприятия строительной индустрии представлены заводами по производству труб, сантехники, железобетонных изделий, цемента, силикатного кирпича.

Территория представляет собой сложный агломерат, объединяющий в себе промышленный, горнодобывающий, селитебный, агротехнический и рекреационный типы экогеологических систем. Существующая причинно-следственная связь эволюции данных систем и окружающей среды [2] прослежена на примере распространения нитратного загрязнения поверхностных вод.

В пределах района работ хорошо развита речная сеть. Основной водной артерией является р. Воронеж, определяющая, в значительной мере, гидрогеологические условия района. В нее впадают реки Кузьминка, Матыра, водотоки крупных балок Студеный, Моховой и Каменный лога, и временные водотоки более мелких, безымянных оврагов.

Поверхностные воды являются наиболее подвижным и чувствительным элементом геоэкологических систем, способным быстро реагировать на изменения в состоянии окружающей среды.

Обычно азот встречается в трех видах: нитраты (NO₃-), нитриты (NO₂-) и аммоний (NH₄⁺).

Круговорот азота в почве складывается из трех взаимозависимых циклов.

Цикл «растения – навоз – раствор в почве – растения». Под растительным покровом в этом цикле потенциальный поток азота составляет

3 млн.т в год. В среднем на 5×10^5 сельскохозяйственной площади нагрузка азотом составляет 6×10^{-3} кг/м² в год. Если под растительным покровом это количество азота полностью используется, то на почве он фиксируется лишь частично, образующийся излишек весьма велик, что указывает на роль интенсивного земледелия.

Цикл «животные – сточные воды – раствор в почве – растения – животные». Потенциальный поток этого цикла составляет 2 млн.т. азота в год. Источником его является скопление растительных продуктов. Следовательно, источником загрязнения являются скопления пищевых отходов, предназначенных для скота, и сточные воды скотоводства. Загрязнение усиливается при интенсификации скотоводства, которое стало экономической необходимостью [4].

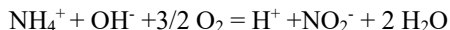
Цикл «человек – сточные воды канализации – раствор в почве – растения (животные) – человек». Поток азота ограничивается сточными водами канализации и составляет порядка 200 тыс.т в год. Сюда необходимо добавить бытовой мусор и сточные воды пищевой и перерабатывающей промышленности, которые не учтены. Значительная роль в загрязнении принадлежит и шламовым стокам очистных станций [4] .

Процессы нитрификации и денитрификации, протекающие в водной среде, создают специфические условия изменения концентраций соединений азота и затрудняют однозначную интерпретацию гидрохимических данных.

Соединения азота в виде аммонийных ионов (NH_4^+), нитритных ионов (NO_2^-) и нитратных (NO_3^-) поступают в окружающую среду преимущественно за счет навозо- и пометохранилищ предприятий агропромышленного комплекса, недостаточно очищенных хозяйственных и промышленных стоков, свалок бытовых отходов, выбросов в атмосферу промышленных предприятий и автомобильного транспорта.

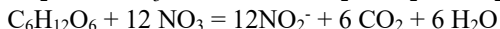
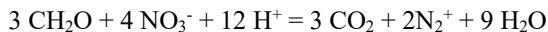
Нитратный азот является конечным продуктом в цепочке последовательных преобразований соединений азота при его окислении: $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$.

Процесс нитрификации продолжается сравнительно недолго до 1,0 – 1,5 месяцев, при условии положительных температур. Аммонийные ионы под действием особого вида бактерий (*Nitrosomonas*) окисляются до нитритных ионов.



При отсутствии дефицита кислорода процесс окисления происходит под воздействием бактерий (*Nitrobacter*) до образования нитратов. Биологическая денитрификация нитратов (вплоть до образования газообразного азота) происходит при наличии анаэробной обстановки, присутствия органического вещества (углеводородов) и большого количества денитрифи-

цирующих микроорганизмов. При этом так же возможно образование нитрит ионов.



Процессы денитрификации происходят сравнительно медленно, усиливаясь лишь в периоды интенсификации фотосинтеза. Образующийся нитритный азот в зависимости от конкретных условий может вновь окисляться до нитратного.

При малом количестве поступающих в почву и поверхностные воды соединений азота баланс его естественного цикла не нарушается, и весь азот связывается и усваивается в приповерхностной зоне. При избыточном поступлении соединений азота происходит накопление нитратного азота в почвах, поверхностных водах, породах зоны аэрации, и как следствие, в подземных водах.

Методика исследования

Для оценки суммарного загрязнения поверхностных вод соединениями группы азота была рассчитана относительная концентрация соединений по уровню ПДК для поверхностных вод, используемых для культурно-бытовых и хозяйственных целей, где значения предельно допустимых концентраций составляют соответственно, для нитратов - 45 мг/дм³, для нитритов - 3,3 мг/дм³, для аммонийного азота - 2 мг/дм³. Расчет производился по формуле:

$$\Sigma P_i = \frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \frac{C_3}{\text{ПДК}_3}$$

где ΣP_i – суммарная относительная концентрация соединений группы азота;

C_1 – концентрация аммонийного азота в мг/дм³;

ПДК_1 – предельно допустимая концентрация аммонийного азота;

C_2 – концентрация нитритов в мг/дм³;

ПДК_2 – предельно допустимая концентрация нитритов в мг/дм³;

C_3 – содержание нитратов в мг/дм³;

ПДК_3 – предельно допустимая концентрация нитратов в мг/дм³.

При этом оценка степени загрязнения была выбрана в соответствии с методическими рекомендациями [1] и составила: от 0 до 1,0, как допустимая; от 1,0 до 3,0, как умеренно опасная; от 3,0 до 10,0, как опасная и свыше 10,0, как катастрофическая.

Полученные результаты

Наиболее опасная ситуация (до катастрофической) выявлена в верховьях р. Кузьминка и ее левого притока, берущего начало от п. Новая Деревня. Аномальный поток (до 66,65) практически без перерывов прослеживается на расстоянии 18 км. Боковые левые притоки, берущие начало от населенных пунктов Тужиловка, Тюшевка, формируют свои, достаточно

контрастные потоки (14,86 ед.- 31,95), которые так же участвуют в формировании общего загрязнения р. Кузьминка. Аналогичная картина отмечается и на правобережье реки, где ураганные содержания (до 119 ед.) отмечаются у ОГУП «Рудничное» и п. Студеные Выселки (13,14).

Опасная ситуация отмечается и на юге изученной площади, где выявлены контрастные гидрохимические ореолы у населенных пунктов Подгорное и Сырский. Эти потоки с аномальными содержаниями (до 37,78 ед.) сформированы в левых отвержках верховья балки Колодезь.

Аномальный поток с контрастностью до 15,72 . выявлен в верховьях оврага Студеный лог (СХКП «Тепличный»). Аналогичная картина отмечается в верховьях балки Лоск, где аномальные содержания на уровне 13,66 ед. установлены по одной пробе. Высокие концентрации отмечены в прудах отстойниках СХКП Агрофирма «Липецк» (12,78).

Не протяженные, но контрастные аномалии выявлены по ряду отдельных проб в пределах Каменного Лога, в районе свалки ТБО «Венера» (85,43) и 9 микрорайона (4,17).

Менее контрастные потоки с концентрацией на уровне умеренно опасной и допустимой отмечены практически по всем водотокам территории. Характерной особенностью потоков является их «прерывистый» характер, когда умеренно опасные концентрации сменяются на допустимые. Это связано с одной стороны, со способностью поверхностных вод к самоочищению от соединений азота, а с другой стороны, поступлением новых порций загрязненных вод от локальных источников. Это наглядно демонстрирует строение гидрохимических потоков в верховьях Федоровского лога, в пределах жилого сектора с. Сенцово, Каменного и Мохового логов в пределах городской застройки.

Исходя из особенностей геохимии соединений азота и того факта, что «свежее» загрязнение соединениями азота представлено в основном аммонийными ионами (за исключением случая аварийных сбросов дренажных вод СХКП «Тепличный», где преобладают нитрат-ионы), сделана попытка через «коэффициент нитрификации» определить степень окисления соединений азота. Этот коэффициент представляет собой отношение суммарной концентрации аммонийного и нитритного азота к концентрации нитратов в пробе и отражает насколько полно прошел процесс окисления, и позволяет, с определенной долей достоверности, выявлять свежие очаги загрязнения поверхностных вод [3].

$$K_H = \frac{NH_4 + NO_2}{NO_3}$$

где: K_H – коэффициент нитрификации (безразмерная величина);

NH_4 - содержание аммонийных ионов в мг/дм³;

NO_2 – содержание нитритных ионов в мг/дм³;

NO_3 содержание нитратов в мг/дм³.

Значения коэффициента нитрификации изменяются от 0,000n до 1158. При этом минимальные значения коэффициента соответствуют максимальной степени окисления соединений азота. Рисунок демонстрирует изменения K_n вниз по течению р. Кузьминка и изменения концентраций нитратов, нитритов, аммонийного азота; отчетливо выделяются очаги «свежего» загрязнения, пространственно связанные с прудом-отстойником ОГУП «Красный Колос», ОГУП «Рудничное» и стоками п. Студеные Выселки.

Анализ графика распределения концентраций соединений азота позволяет выявить следующие детали. В верховьях балки (проба с 10 по 13) K_n колеблется в пределах 0,16 – 0,75 при содержании нитратного азота до 8,77. Достаточно высокая степень окисления вызвана тем, что поступление свежего загрязнения от жилого сектора не значительно, а нитраты поступают через промежуточный коллектор – донные отложения. Резкое увеличение K_n от 6,34 до 115,97 фиксирует поступление не очищенных стоков птицефабрики. Аналогичная картина наблюдается и на участке сброса недостаточно очищенных стоков ОГУП «Рудничное» (проба 9). Но, так как сточные воды здесь все же проходят через пруды-осветлители, степень окисления соединений азота в данном случае выше. «Свежее» загрязнение отмечено в районе населенного пункта Студеные Выселки.

Участок среднего течения р. Кузьминка характеризуется отсутствием очагов загрязнения (коэффициент нитрификации близок к 0). Уменьшение концентрации нитратов с 39,81 до 33,21 мг/дм³ вниз по течению реки происходит, очевидно, за счет фотосинтеза и разбавления. Градиент изменения концентраций составляет от 0,35мг/км до 2,9 мг/км.

Аналогичное строение, но меньшую контрастность и протяженность имеет гидрохимический поток по логу у п. Тушиловка.

На слабоконтрастных аномалиях и потоках с допустимой концентрацией соединений азота применение K_n позволяет выявлять локальные очаги загрязнения на ранних стадиях [5]. И, если в пределах жилой застройки не канализированных поселков причины возникновения локальных очагов «свежего» загрязнения очевидны, то в ряде случаев, как, например, в верховьях Хуторского лога, причины поступления соединений азота с низкой степенью окисления нуждаются в изучении.

Изучение причин ухудшения состояния поверхностных вод Липецкого промрайона, в первую очередь, было направлено на выявление очагов загрязнения, выяснение возможных путей миграции соединений группы азота, определение уровня концентрации их в различных элементах геологической среды с целью предупреждения негативного развития ситуации.

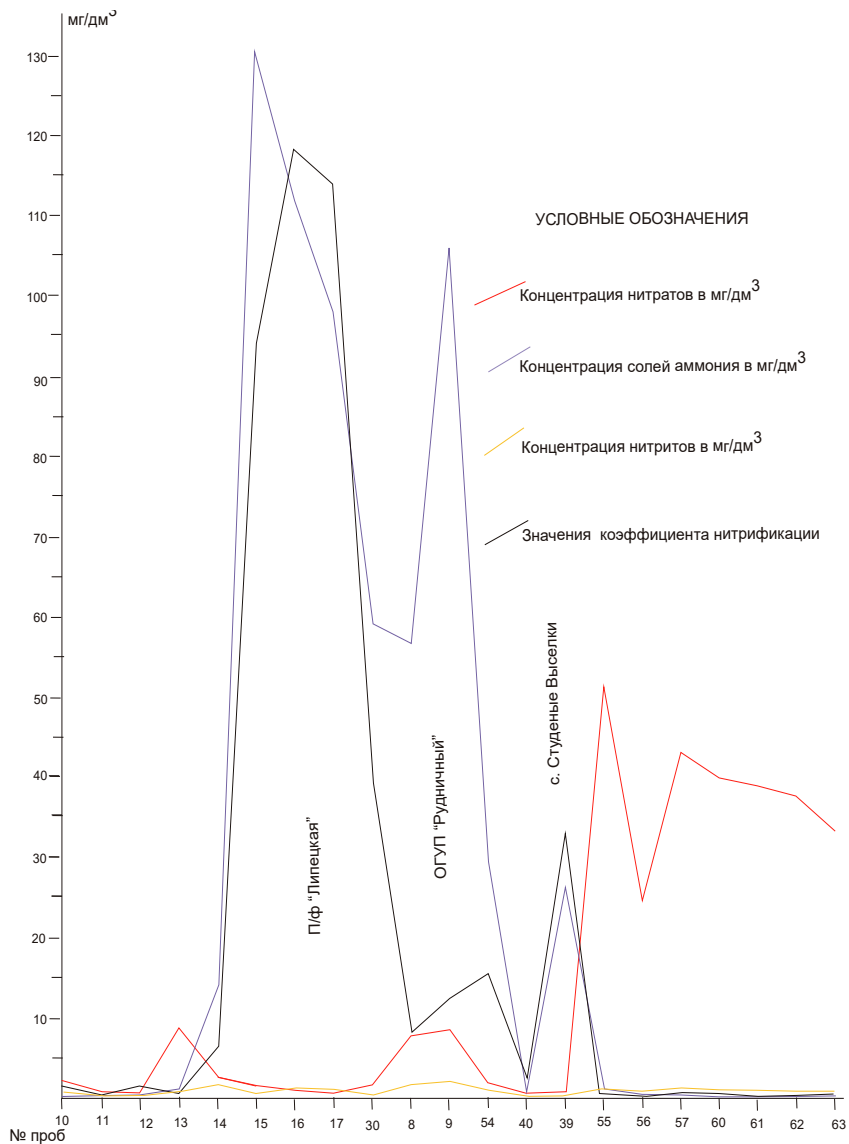


Рисунок 1 – Графики изменения концентрации и степени окисления соединений азота в поверхностных водах р. Кузьминка

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольдберг В.М. Методическое руководство по охране подземных вод от загрязнения [Текст]. - М.: Сэв, 1979. - 63 с. – 700 экз.
2. Косинова И.И. Экогеологические системы как объект диагностирования. Вестник Воронежского Университета: Вып. 6. Серия геологическая [Текст]. –Воронеж.: Воронежский государственный университет, 1998г. - 34 с.
3. Орадовская А.Е. Гидрогеологическое обоснование мероприятий по предупреждению и ликвидации загрязнения подземных вод в районе водозабора №1 г.Липецка [Текст]. - М.: ВОДГЕО, 1984. - 81 с. – 240 экз.
4. СанПиН 2.1.7.1322-03 «Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления» [Текст]. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2003
5. Лехов А.В., Кузнецов М.М., Гриневский С.О. Оценка возможностей загрязнения подземных вод и ущерба речному стоку в районе г. Липецка [Текст]. -М.: МГУ, 1996. - 65 с. – 5 экз.

УДК 338.48-53:556.55(476.2-21Гомель)

ОСОБЕННОСТИ ВОДНО-РЕКРЕАЦИОННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛИМНОСИСТЕМ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ Г. ГОМЕЛЬ)

Томаш М.А, Шершнев О.В.

*Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины
ул. Советская, 104, 246003 г. Гомель, Республика Беларусь
Томаш Марина Сергеевна, e-mail: tmarinka@mail.ru*

Аннотация. В статье приведена характеристика озер города Гомель, анализируются проблемы использования малых водоемов урбанизированной территории на примере областного центра. Проведена оценка степени использования озер города в целях рекреации, а также для определения целесообразности развития различных видов туризма и отдыха на их территории. Рассчитана допустимая рекреационная нагрузка на малые водоемы областного центра.

Ключевые слова: озеро, водоем, рекреация, нагрузка, инфраструктура

Введение

Город Гомель, областной центр, имеющий уникальную для Беларуси аквальную геосистему: русло реки Сож в районе города протяженностью

более 15 км, при этом достаточно сильно меандрирует, образуя тем самым каскад крупных озер с ровными песчаными берегами.

В связи с этим в городе издавна функционирует сеть пляжей с соответствующей инфраструктурой (раздевалки, туалеты, пункты спасения и оказания первой медицинской помощи), возможностью быстрого доступа к ней из любого района города.

Крупные города Беларуси имеют схожие физико-географические и гидрологические условия, однако купально-пляжный отдых организован в основном на периферии города, а не на озерах и реках в центре [1].

Методика исследования

Анализ характеристик отдельных озер показывает, что многие из них имеют ряд особенностей (рисунки 1).

Озеро Володькино находится в восточной части Гомеля в Центральном районе и имеет наиболее нестандартные характеристики. Через него не только протекает река Сож, но и в его юго-восточной части находится устье реки Ипуть. Своё название озеро получило от остановочной пристани «Володино», которая находилась в месте впадения реки Ипуть в р. Сож. На западном берегу имеется пляж, а территория относится к парку Гомельского дворцово-паркового ансамбля. Озеро очень богато рыбой, на нем проводится ежегодное состязание рыбаков Гомельской области. В южной части Володькино находится туристический комплекс Дом Рыбака.



Рисунок 1 – Схема расположения водоёмов на территории города Гомеля

Анализ характеристик отдельных озер показывает, что многие из них имеют ряд особенностей (рисунки 1).

Озеро Володькино находится в восточной части Гомеля в Центральном районе и имеет наиболее нестандартные характеристики. Через него не только протекает река Сож, но и в его юго-восточной части находится устье реки Ипуть. Своё название озеро получило от остановочной пристани

ни «Володино», которая находилась в месте впадения реки Ипуть в р. Сож. На западном берегу имеется пляж, а территория относится к парку Гомельского дворцово-паркового ансамбля. Озеро очень богато рыбой, на нем проводится ежегодное состязание рыбаков Гомельской области. В южной части Володькино находится туристический комплекс Дом Рыбака.

Озеро Обкомовское – пойменное озеро, находящееся к северу от озера Володькино, по правому берегу р. Сож. Является частью Волотовской протоки. История названия озера доподлинно неизвестна. Вероятнее всего, с организацией микрорайона «Мельников луг», входящего в план застройки микрорайона «Пролетарский луг» по аналогии с пролетариатом и обкомом партии в народе укрепилось это название. На северном берегу Обкомовского озера размещен Гомельский яхт-клуб и причал станции МЧС. Купание на озере запрещено [1].

Озеро Дедно – старичное озеро в 450 метрах к северу от озера Обкомовское. Используется для сброса ливневых канализаций центральной части Гомеля. Не предназначено для проведения досуга и не благоустроено. Берега заросшие. Гидроним *Дедно*- синонимичен наименованию «старик», как «старое русло реки», сам же топоним Дедно связан с названием озера Дед. Также название озера Дедно может происходить от обозначения места обитания дедов-предков, как символа истоков города. В связи с почти отсутствующей антропогенной нагрузкой вокруг Дедно сформировалась инвазия растений, совершенно нетипичных для городских территорий (рисунок 2).



Рисунок 2 – Водоемы Центрального района

Озеро Бобриха – малое ложбинное озеро Центральном районе Гомеля, получившее свое название от места обитания бобров, которые селятся исключительно в положительных «местах силы» и сами излучают энергию трудолюбия и созидания, прилежания, бдительности и миролюбия. В XX веке было излюбленным местом для отдыха местных жителей. В настоящее время активно заболачивается.

Озеро Любенское – находится в полукилометре от Роповского озера, в южной части Гомеля, в Советском районе. Является озером пойменного типа и расположено в правой пойменной зоне реки Сож. Древнее поселение Любно и дало название озеру. Также у славян названия речек и озер Любка, Любынь, Любань, Любовка означали «милая, добрая, любая вода» и выражали веру в спасительную силу и жизненную основу воды, что также могло послужить основанием для названия озера Любенское, которое очень популярно у гомельчан. По форме озеро напоминает дугу, в прошлом, вероятно, было частью основного русла Сожа. С нынешним руслом Любенское связано небольшой протокой в восточной части. На Любенском озере ежегодно празднуется Купалье [1].

Озеро Роповское – озеро пойменного типа, связано с рекой Сож двумя протоками. Название озера произошло от аббревиатуры РОП – район

ный отстойник плавсредств. В акватории озера расположена лодочная станция, гребная база и два пляжа с соответствующей инфраструктурой (рисунок 3).



Рисунок 3 – Водоемы Новобелицкого и Советского районов

Озеро в микрорайоне Шведская Горка – крупное пойменное озеро в юго-западной окраине Гомеля. С рекой Сож соединено небольшой протокой в восточной части. В настоящее время искусственно расширяется и благоустраивается в связи со строительством крупного микрорайона «Шведская горка». Уже используется в рекреационных целях. В перспективе может стать частью более крупного искусственного озера, т.к. именно в этом месте в настоящее время изымается песок для строительных нужд Гомеля.

Каскад озер «Волотовские» – группа озер старичного происхождения в Железнодорожном районе Гомеля. Окрестности этих озер словно самой природой предназначены стать излюбленным местом отдыха местных жителей. Близкое расположение к жилым домам делает озера популярными для отдыха как в летнее, так и в зимнее время. В каскаде три малых озера, на двух из которых есть благоустроенные пляжи. Территория вокруг озер также благоустроена.

Озеро Шапор – пойменное озеро на левом берегу реки Сож в восточной части Гомеля в Новобелицком районе. Гидроним Шапор соотно-

сится с названием деревни Шапарня и водных объектов Шипор, Шуберка в бассейнах Припяти и Днепра. Также возможно и происхождение названия Шапор от форм шибар, шивер в значениях «болото» или «илистая, заболоченная земля». Состояние воды в Шапоре не контролируется, с близлежащих предприятий в него попадают ливневые стоки. Следовательно, озеро не предназначено для купания и активного отдыха. Однако в месте впадения Новобелицкого канала в Сож расположен пляж с соответствующей инфраструктурой [4].

Белицкое – озеро вероятно остаточного происхождения в восточной части Гомеля в Новобелицком районе. Название этого озера сопоставимо со словом *бель* – «небольшое болото, низкое место». Также гидроним Белицкое можно отнести к производной от названия села Белица, который в свою очередь был назван по протекавшей вблизи него реке Беличанка. мет благоустроенную территорию и является частью Белицкого парка. К северу от озера построена церковь Александра Невского.

Озеро Сетен – водоем к востоку от Гомеля в населенном пункте Полюбичи. Вероятно, в прошлом было частью Волотовских озер. Гидроним Сетин образован от основы *сет-* в значении «плести» и «тина», что согласуется с местным преданием, согласно которому озеро представлялось в образе сетей, затягивающих людей на дно. Озеро активно используется местными рыбаками. Перспективно для строительства агроусадьбы в северной части.

Озеро Бурое болото (Волотовской канал) – вытянутое озеро в форме рогатки к западу от Волотовского каскада озер в Железнодорожном районе Гомеля. Используется горожанами для отдыха. Происхождение названия озера незамысловато. В древности на этом болоте добывали торф, поэтому именно из-за характерного темного цвета поверхности озера и глинистой почвы в окрестностях его и стали называть Бурым.

Озеро Волотовское – самое крупное озеро Волотовского каскада озер в Гомеле. Расположено между Бурым болотом и каскадом малых озер. Некогда весь Волотовской каскад был частью озера Волотово в деревне с одноименным названием. Существует предание, что на прибрежной волотовской горе в языческую эпоху поклонялись именно богу Волоту. Также не исключено происхождение названия Волотова как производное от волота – «богатырь, гигант, великан», народа, некогда населявшего именно эту часть древнего Гомеля. В настоящее время территория озера благоустроена и активно используется. Озеро богато рыбой, также неоднократно на его территории проходили чемпионаты по водно-моторному спорту (рисунок 4).

Приведенная характеристика водоемов Гомеля свидетельствует о преобладании в городе пойменных и искусственно созданных озер. Большинство водоемов имеют овальную форму. Они благоустроены, часть уже

используется в туристской индустрии, купально-пляжном отдыхе, рыболовстве или имеют эстетическое назначение.



Рисунок 4 – Озера микрорайона Волотова

Рекреационное использование водоемов в других районах области осуществляется лишь на местном уровне населением, проживающим непосредственно вблизи этих озер [2].

Результаты

На сегодняшний день отсутствуют комплексные подходы оценки природных ресурсов озер и направлений их хозяйственного использования, однако они имеют одно из приоритетных значений для решения социально-экономических проблем, определяющих специфические демографические, этнографические и, особенно, экологические и средозащитные функции. Местная рекреационная система формируется для удовлетворения потребностей населения в отдыхе вблизи мест проживания на базе водохранилищ и озер, благоприятных для организации отдыха.

Озера города Гомеля по своим параметрам относятся к малым и очень малым (площадью $1\text{--}10\text{ км}^2$ и $0,1\text{--}1\text{ км}^2$) и их изученность вследствие многочисленности и разнообразия характеристик, пока недостаточна. По пространственным параметрам адекватными по величине для создания

экологически комфортной средой для отдыха являются озера до 1 км², наилучшие условия для организации массовых видов рекреационной деятельности формируются на озерах площадью 1–5 км² (таблица 1).

Таблица 1 – Морфометрические характеристики водоемов города Гомеля

Название водоема	Тип водоема	Площадь, км ²	Длина, км	Ширина, км	Длина береговой линии, км
Роповское	старица	0,59	1,3	0,5	5,4
Шведская Горка	старица	0,44	1,19	0,7	2,8
Шапор	старица	0,13	1,1	0,3	2,7
Володькино	старица	1,1	1,3	1,0	4,2
Обкомовское	старица	0,3	0,8	0,4	1,9
Любенское	старица	0,37	1,24	0,45	3,6
Волотовские	искусственное	0,1	1,0	0,17	2,3
Бурое болото	искусственное	0,056	0,85	0,05	2,7

Анализ данных таблицы 1 показывает, что практически все озера, расположенные в пределах города Гомеля соответствуют экологически допустимой рекреационной емкости, а также в той или иной степени пригодны для различных форм рекреации и туризма [4].

Озера города Гомеля пользуются большой популярностью у отдыхающего местного населения. Эти природные объекты обладает множеством характеристик, которые делают их уникальными и способствуют большей притягательности. Почти все озера г. Гомеля округлые по форме с пологим песчаным дном, прозрачной водой, что делает их пригодным для семейного отдыха, а также с наличием некоторой рекреационной инфраструктуры (пляжи и отдельные элементы благоустройства).

В ходе исследования была собрана информация по инфраструктуре рекреационных зон в каждом из районов г. Гомеля, в котором действует 9 официально утвержденных пляжей. В период купального сезона (с июня по август, начало сентября), еженедельно специалистами санитарно-эпидемиологической службы г. Гомеля проводится оценка санитарного состояния и благоустройства пляжей, а также оценка качества воды по показателям безопасности.

Сводные данные об инфраструктуре рекреационных зон (пляжей) по районам города Гомеля представлены в таблице 2.

Программа расширения города вдоль реки Сож не утратила силу. В настоящее время в юго-западной части Гомеля (проспект Октября, деревня Осовцы), на строительные нужды города (ежегодная потребность свыше 1

млн. м³) изымается песок на площади свыше 100 га. Данный участок находится непосредственно в пойме реки Сож и сразу же затопляется [4].

Таблица 2 – Инфраструктура 9 зон рекреации г. Гомеля

Инфраструктура, название места рекреации (пляж)	Дорожки	Туалеты	Урны для мусо-	Контейнеры	Автостоянка	Раздевалки	Спортплощадки	Теневые навесы	Беседки	Лежаки	Отмостки	Душевые	Информ. стенды	Прокат лодок	Магазины
«Каскад 1»	+	+	+	+	-	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+
«Каскад 2»	+	+	+	+	-	+	-	+	+	-	-	-	+	-	-
«Центральный»	+	+	+	+	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+
«Прудковский»	-	+	+	+	-	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-
«Вологовской»	-	+	+	+	-	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-
«Новобелицкий»	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-
«Западный»	-	+	+	+	-	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-
«Роповский»	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+
«Любенский»	+	+	+	+	-	+	-	+	-	-	-	-	+	+	-

Таким образом, в ближайшем будущем в городе Гомеле появится новое искусственное озеро, длина которого составит 2,9 км, ширина 2,5 км, участок сопряжения с руслом реки Сож длиной свыше 2 км. Озеро станет самым крупным в городе.

В настоящее время в Беларуси особое внимание уделяется развитию внутреннего туризма, в частности рекреационного, купально-пляжного и агроэкотуризма. Создание мест для отдыха, строительство агроусадоб и развитие туристической инфраструктуры приоритетно вблизи водоемов. Наличие живописного вида и чистого озера не означает экономическую целесообразность оказания туристических услуг и создание инфраструктуры для пляжного отдыха или рыбалки. Пляжный досуг и купально-пляжный туризм в нашей стране приурочен к крупным рекам и водохранилищам и населенным пунктам вблизи их.

Среди озер города Гомеля интенсивное развитие и использование в целях рекреации и туризма получили водоемы, имеющие большие размеры и относящиеся к пойменной части реки Сож. Рекреационное использование водоемов в других районах областного центра осуществляется лишь на местном уровне населением, проживающим непосредственно вблизи этих озер.

Не смотря на большое количество озер в г. Гомеле, официальные зоны рекреации созданы лишь на некоторых водоемах. По результатам рек-

реационной оценки лишь некоторые озера города Гомеля имеют туристические комплексы и пляжи. Самыми благоустроенными и привлекательными для туристов и горожан оказались такие озера в Гомеле как Роповское, Володькино, Любенское, а также два русловых участка реки Сож с пляжами.

Город Гомель имеет много зон рекреации на озерах, в связи с чем создаются благоприятные условия для развития купально-пляжного туризма. Однако, все малые водоемы в пределах города так или иначе испытывают некую рекреационную нагрузку разной степени [3].

Оценка рекреационной нагрузки проводилась наиболее популярных у местного населения озер города Гомель в летний период. При ее расчете учитывались такие критерии, как: площадь озера и прибрежной зоны (га), климатический показатель – комфортная теплая солнечная погода, число отдыхающих за рекреационный сезон и продолжительность этого сезона.

Общая расчетная единовременная рекреационная нагрузка по отдельным видам рекреации на водоемы областного центра представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Рекреационная нагрузка на озера в г. Гомель, тыс.чел./га

	Роповское	Шведская горка	Шапор	Любенское	Обкомовское	Волотовские	Бурое болото	Володькино рыбалка	Всего
Площадь, га	59	44	13	37	30	10	5	110	
общая нагрузка	8260	6160	1820	5180	4200	1400	700	15400	43120
в т.ч.на пляжах и воде	7434	5544	1638	4662	3780	1260	630	13860	38808
на судах и водных лыжах	531	396	117	333	270	90	45	990	2772
рыбалка и прогулки	295	220	65	185	150	50	25	550	1540

принятие солн.ванн	73750	55000	16250	46250	37500	12500	6250	137500	411250
акватория в зоне купания	38350	28600	8450	24050	19500	6500	3250	71500	200200
катание на гребных лодках,	29,5	22	6,5	18,5	15	5	2,5	55	154

Заключение

Результаты рекреационной оценки водных ресурсов г. Гомеля свидетельствуют о больших перспективах для развития купально-пляжного туризма в городе. Высший балл по результатам оценки, согласно выбранным критериям, имеет русловой участок р. Сож протяжённостью более 1 км, с созданным на нем пляжем, а также каскад Волотовских озёр в активно застраиваемой части города [3].

Пляжи «Западный» и «Новобелицкий» требуют дополнительного расширения и благоустройства. Озера Роповское и Любенское имеют благоприятный статус для развития купально-пляжного и водноспортивного туризма. Небольшое озеро в Костюковке имеет в целом неблагоприятный статус, обусловленный удалённостью от города, малым числом маршрутов общественного транспорта. Участки пляжей на озёрах Сож и Володькино не представляют особого интереса для отдыхающих. В этих зонах необходимо развивать пляжную инфраструктуру и улучшать сервис, однако на озере Володькино создана база отдыха для туристов «Дом Рыбака».

17-й карьер в Железнодорожном районе находится в благоустроенной зоне паркового типа. Пляж небольшой, но к нему легко добраться из многих районов города. Техногенное происхождение озера и его небольшие размеры не позволяют оказывать дополнительные услуги, что не мешает данному водоёму быть одним из популярных мест отдыха в пляжный сезон.

Общая расчетная единовременная рекреационная нагрузка на городские озера Гомеля составляет 43,1 тыс. человек, то есть каждый двенадцатый житель города может одновременно отдыхать на городских озерах. Практически не лимитируют желание принимать солнечные ванны берега озер – 411 тыс. чел [5].

Помимо этого, Гомельские озера обеспечивают хорошие возможности для катания на лодках и водных лыжах, а также любительского рыболовства.

Особым рекреационным значением обладают малые водоемы, такие как Любенское, Обкомовское и Волотовские, так как они в дополнение к существующей рекреационной емкости имеют хорошее транспортное обеспечение.

В целом рекреационные возможности озер Гомеля в жаркие летние периоды не гарантируют достаточного обеспечения жителей и гостей города рекреационными возможностями, поэтому при рекультивации земель, освободившихся после добычи полезных ископаемых (строительных материалов) целесообразно в первую очередь рассматривать возможность их водохозяйственной рекультивации.

Комплексная оценка рекреационной пригодности акватории озер города Гомеля, основанная на дифференцировании качества водоема для различных видов отдыха, ранее не проводилась, вследствие чего существует необходимость проведения ежегодной рекреационной оценки городских водоемов с целью определения степени их пригодности и аттрактивности для удовлетворения потребностей населения в отдыхе и туризме.

Таким образом, на территории г. Гомеля природные комплексы малых водоёмов многочисленны, но практически не исследованы, а недостаток зон отдыха в городе делает водоёмы значимыми объектами для создания новых рекреационных территорий. Комплексные географические исследования малых водоёмов позволят более детально разобраться в многоплановой системе связей водоёмов с окружающими ландшафтами, оценить динамику гидросистем и решить ряд задач, связанных с планированием городских и пригородных территорий [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Томаш, М.С. Анализ малых водоемов урбанизированных территорий (на примере города Гомеля) / М.С. Томаш, Д.Н. Богданов // Географические аспекты устойчивого развития регионов: III международная научно-практическая конференция, посвященная 50-летию геол.-геогр. фак. и каф. геол. и геогр. (Гомель, 23–25 мая 2019 г.) : сб. материалов / М-во образования Респ. Беларусь, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины, Гомельский обл. отдел обществ. об-ния «Белорусское геогр. о-во», Рос. центр науки и культуры в Гомеле ; редкол. : А. И. Павловский (гл. ред.) [и др.]. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2019. – С. 328–333.

2. Томаш, М.С. Современное состояние и использование водоемов урбанизированных территорий (на примере г. Гомель) / М.С. Томаш // Весці БДПУ. Серыя 3. – № 3. – 2020. – С. 50–55.

3. Технический кодекс установившейся практики ТКП 17.06-17-2018 (33140). – Изд-во Минприроды, 2018. – 24 с.

4. Томаш, М.С. Рекреационный потенциал лимносистем г. Гомеля / М.С. Томаш // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. – Серыя 5. Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі. – № 2. – 2020. – С. 148–156.

5. Томаш, М.С. Малые водоемы г. Гомеля: история и современное состояние / М.С. Томаш // Актуальные проблемы наук о Земле: использование природных ресурсов и сохранение окружающей среды : сб. материалов V Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 27–29 сент. 2021 г. : в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: С. А. Лысенко, М. А. Богдасаров, А. А. Волчек. – Брест : БрГУ, 2021. – Ч. 2. – С. 45–48.

FEATURES OF WATER-RECREATIONAL USE OF LIMNOSYSTEMS OF URBANIZED TERRITORIES (ON THE EXAMPLE OF GOMEL)

Tomash M.S.

Gomel State University named after Francisk Skorina", Gomel, Sovetskaya St., 104,

email: tmalinka@mail.ru

Abstract. The article describes the lakes of the city of Gomel, analyzes the problems of using small reservoirs of urbanized territory using the example of the regional center. An assessment of the use of the city's lakes for recreation purposes was carried out, as well as to determine the feasibility of developing various types of tourism and recreation on their territory. The permissible recreational load on small reservoirs of the regional center is calculated.

Keywords: lake, reservoir, recreation, load, infrastructure

УДК 556.388:661.632.2

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОЕНИЯ ЗОНЫ АЭРАЦИИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ГОМЕЛЬСКОГО ХИМИЧЕСКОГО ЗАВОДА

Шеринёв О.В., Павловский А.И., Акулевич А.Ф.

*Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины ,
г. Гомель, Республика Беларусь*

*Олег Владимирович Шеринёв, e-mail: natstudy@yandex.ru,
Александр Илларионович Павловский, e-mail: airpavlovsky@mail.ru
Анатолий Францевич Акулевич, e-mail: aakulevich@gsu.by*

Аннотация. Зона аэрации является естественной защитой грунтовых вод от загрязнения с поверхности земли. Изучена пространственная дифференциация мощности и геологического строения зоны аэрации в зоне

влияния Гомельского химического завода. Установлены факторы, влияющие на формирование мощности зоны аэрации. Выполнен анализ распространения загрязняющих компонентов по профилю зоны аэрации. Установлено отсутствие выраженной закономерности в их распределении, что требует детализации исследований по изучению водно-физических свойств горных пород в зоне аэрации.

Ключевые слова: зона аэрации, горные породы, грунтовые воды, отходы производства, загрязняющие компоненты.

Особенности строения и мощность зоны аэрации могут оказывать влияние на миграцию загрязняющих веществ, тем самым, определяя защищенность грунтовых вод от загрязнения с поверхности. Часть солей задерживается в зоне аэрации (сорбируется на породах или отлагается в порах горных пород и почв).

На территории производственной деятельности Гомельского химического завода (ГХЗ) размещены отходы производства на площади более 90 га. Они представлены отвалами фосфогипса, которые являются одним из главных источников формирования загрязнения подземных вод.

Для оценки техногенного влияния на подземные воды в пределах производственной территории ГХЗ необходима детализация геолого-гидрогеологических условий, в том числе верхней части геологического разреза.

Объектом исследования является зона аэрации в пределах санитарно-защитной зоны ГХЗ. Геологическое и гидрогеологическое строение территории были изучены по данным инженерно-геологических изысканий, режимной и локальной сети мониторинга подземных вод ГХЗ за период 2017–2020 гг. Анализ распределения загрязняющих веществ в зоне аэрации на прилегающих к отвалам фосфогипса землях был проведен в 2019 г. посредством изучения водных вытяжек на пяти ключевых участках, расположенных на различном удалении от отвалов фосфогипса в непосредственной близости от скважин локальной сети мониторинга грунтовых вод. Отбор образцов осуществлялся в пределах трех подзон: почвенной (0,2 м), вадозной (0,6–1,6 м) и капиллярной (1,3–3,3 м). Нейтральная водная вытяжка приготовлена в соответствии с требованиями СТБ 17.13.05-36-2015 [1]. В качестве анализируемых показателей приняты основные компоненты-загрязнители подземной гидросферы в зоне влияния ГХЗ (сульфат-ион, фосфат-ион, аммоний-ион).

Строение зоны аэрации. Зона аэрации района Гомельского химического завода расположена в пределах двух крупных геоморфологических элементов – водноледниковой равнины сформировавшейся в спреднеплейстоценовое время после отступления днепровского ледника и второй

аллювиальной террасы р. Сож сформировавшейся в верхнеплейстоценовое время.

Мощность зоны аэрации в пределах санитарно-защитной зоны ГХЗ изменяется от 0 до нескольких метров. Как она правило не превышает 3–5 м, а на большей части составляет менее 1 м (рис. 1). При этом на отдельных площадях, например, в южной части промышленной площадки уровень грунтовых вод находится выше поверхности земли, и зона аэрации отсутствует. Пробуренные ОАО «Гомельгеосервис» в 1990-е гг. скважины на отвале фосфогипса не вскрыли грунтовые воды до глубины 12 м. Между отвалами фосфогипса мощность зоны аэрации определяется наличием дрен, замкнутых понижений, высотой отдельных площадок и склоновых накоплений фосфогипса.

Мощность зоны аэрации не постоянная во времени и в пространстве и зависит от колебания уровня грунтовых вод, а в геологическом отношении – от генезиса, возраста и состава покровных отложений. За период 2017–2020 гг. амплитуда колебания мощности зоны аэрации по данным локальной сети мониторинга изменялась в широких пределах от 0,1 м до 1,04 м.

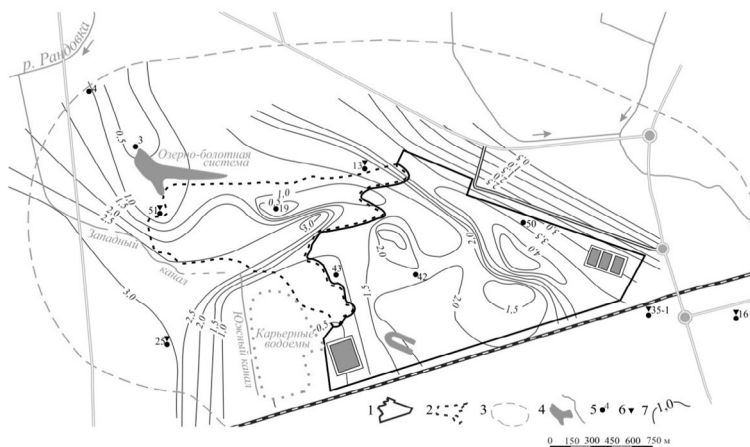


Рисунок 1 – Мощность зоны аэрации в пределах санитарно-защитной зоны ГХЗ (по данным локальной и режимной сети мониторинга подземных вод): 1 – площадка ОАО «ГХЗ», 2 – контуры размещения отходов производства, 3 – границы санитарно-защитной зоны, 4 – водоемы и водотоки, 5 – скважины локальной и режимной сети мониторинга, 6 – точки отбора проб из зоны аэрации, 7 – изолинии мощности зоны аэрации.

Изменение мощности зоны аэрации связано, прежде всего с сезонными факторами. В пределах санитарно-защитной зоны ГХЗ по распространению зоны аэрации выделены три типа участков.

Первый тип занимает наибольшую площадь и характеризующиеся постоянным наличием зоны аэрации при высоких и низких уровнях грунтовых вод.

Второй тип представлен участками постоянного отсутствия зоны аэрации, когда грунтовые воды смыкаются с поверхностными: это русла рр. Рандовки и Мильчанской канавы, пруды-усреднители, выпуски технических вод в Мильчанскую канаву, отдельные участки Западного и Южного каналов, примыкающие к отвалу фосфогипса, отдельные карьерные водоемы, расположенные между отвалом фосфогипса и железной дорогой Гомель-Речица.

Третий тип включает участки, затопляемые на длительное время и на которых на период затопления зона аэрации исчезает. К ним относятся: площади в пределах заболоченных территорий, отдельные участки Западного и Южного каналов удаленные от отвала, участки отдельных пересыхающих карьерных водоемов, расположенных между отвалом фосфогипса и железной дорогой Гомель-Речица, отдельные пониженные участки между высокими отвалами, территория, примыкающая к отвалу фосфогипса с севера, территория между промплощадкой и железной дорогой Гомель-Речица и др.

Строение зоны аэрации представлено различными генетическими типами геологических образований. Среди них выделяются: отложения днепровской морены (супеси и суглинки), водноледниковые отложения времени отступления днепровского ледника (пески мелкие, пески пылеватые, супеси), аллювиальные отложения второй надпойменной террасы р. Сож (пески мелкие и пылеватые), эоловыми отложения верхлеплейстоценоголоценового времени (пески мелкие), аллювиальные отложения пойм рр. Мильча и Рандовка (пески мелкие и пылеватые), аллювиальные старичные отложения (пески мелкие гумуссированные, ил), болотные отложения (заторфованный грунт с сильно разложившейся органикой), техногенные насыпные и намывные отложения (фосфогипс, строительные отходы, насыпной песчаный грунт, песчано-глинистый грунт строительных планировок и обратных насыпок). В разрезе зона аэрации может быть представлена однослойной толщей одного генетического типа, двухслойной толщей одного или двух генетических типов и трехслойной толщей двух или трех генетических типов (рис. 2).

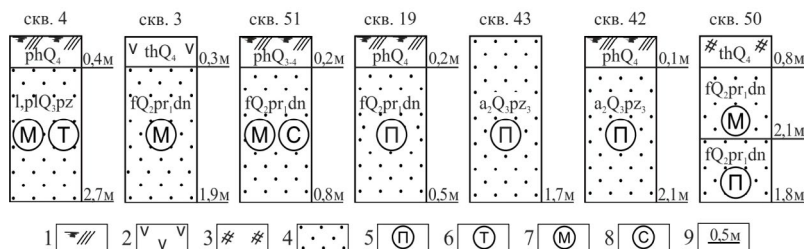


Рисунок 2 – Типовые геолого-литологические колонки зоны аэрации территории исследования: 1 – почвенно-растительный слой, 2 – торф, 3 – насыпной грунт, 4 – песок; зерновой состав песка: 5 – пылеватый, 6 – тонкий, 7 – мелкий, 8 – средний; 9 – мощность отложений.

*Примечание. Положение скважин см. на рис. 1.

Распределение загрязняющих компонентов в зоне аэрации. Концентрации сульфат-иона в зоне аэрации во всех исследуемых точках существенно ниже по сравнению с грунтовыми водами (рис. 3). Наиболее высокая концентрация сульфат-иона характерна для зоны аэрации в точке наблюдения, расположенной у скважины 51 в западной части отвалов фосфогипса. На остальных участках концентрации сульфат-иона в той или иной степени близки между собой.

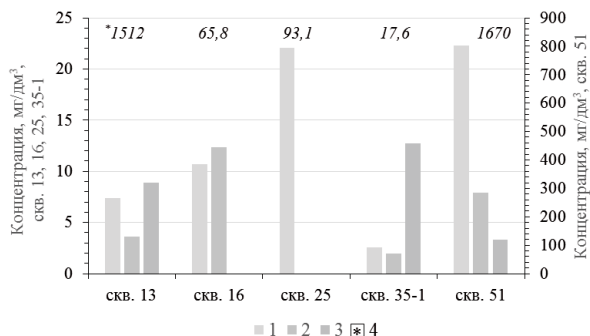


Рисунок 3 – Распределение концентраций сульфат-иона в зоне аэрации на территории исследования: подзоны: 1 – почвенная, 2 – вадозная, 3 – капиллярная; 4 – концентрация компонента в грунтовых водах.

Распределение концентраций сульфат-иона в разрезе зоны аэрации на всех исследуемых участках не имеет четко выраженной однонаправленной закономерности. Наблюдается либо сокращение концентрации химического компонента от почвенной подзоны к вадозной и последующее воз-

растание в капиллярной подзоне (скв. 13, 35-1), либо последовательное снижение концентраций вниз по разрезу зоны аэрации (скв. 51).

Концентрации фосфат-иона (в пересчете на P) в зоне аэрации во всех исследуемых точках, за исключением скв. 51 значительно выше, чем в грунтовых водах (рис. 4).

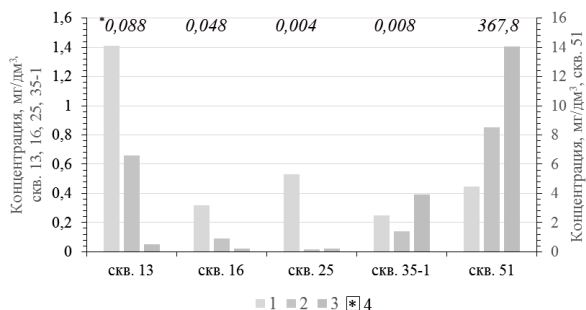


Рисунок 4 – Распределение концентраций фосфат-иона (в пересчете на P) в зоне аэрации на территории исследования: подзоны: 1 – почвенная, 2 – вадозная, 3 – капиллярная; 4 – концентрация компонента в грунтовых водах.

Наблюдается несколько случаев изменения концентрации фосфат-иона по вертикальному профилю зоны аэрации: 1 – постепенное сокращение концентраций (скв. 13, 16), 2 – постепенное возрастание концентраций (скв. 51), 3 – сокращение концентрации химического компонента от почвенной подзоны к вадозной и последующее возрастание концентрации в капиллярной подзоне (скв. 25, 35-1).

Концентрации аммоний-иона (в пересчете на N) в зоне аэрации ниже, чем в грунтовых водах лишь в точках в районах скв. 13, 51 (рис. 5).

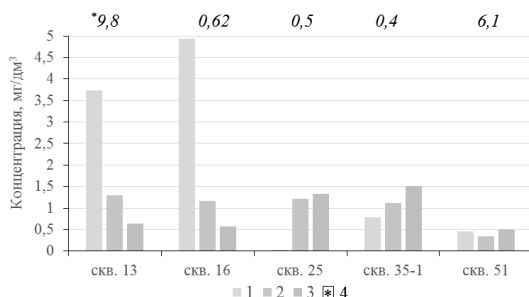


Рисунок 5 – Распределение концентраций аммоний-иона (в пересчете на N) в зоне аэрации на территории исследования: подзоны: 1 – почвенная, 2 – вадозная, 3 – капиллярная; 4 – концентрация компонента в грунтовых водах.

Наблюдается несколько случаев изменения концентрации аммоний-иона по вертикальному профилю зоны аэрации: 1 – постепенное сокращение концентраций (скв. 13, 16), 2 – постепенное возрастание концентраций (скв. 25, 35-1), 3 – сокращение концентрации химического компонента от почвенной подзоны к вадозной и последующее возрастание концентрации в капиллярной подзоне (скв. 51).

В распределении концентраций анализируемых компонентов в зоне аэрации нет единой выраженной закономерности. Наблюдается разнонаправленный характер изменения концентраций с глубиной, представленный сокращением/возрастанием компонентов вниз по разрезу зоны аэрации, либо сокращением концентрации химического компонента от почвенной подзоны к вадозной и последующим возрастанием в капиллярной подзоне. Подобное распределение концентраций требует дальнейшего более глубокого определения и анализа естественного сложения, гранулометрического и минералогического состава пород зоны аэрации, естественной и гигроскопической влажности, техногенного воздействия на различном удалении от источника загрязнения.

По результатам проведенного исследования в пределах санитарно-защитной зоны ГХЗ установлены три вида участков с различной мощностью, строением зоны аэрации и площадью распространения. Зоны аэрации преимущественно сложена песками различного гранулометрического состава (пылеватыми, мелко- и среднезернистыми), реже супесями и суглинками аллювиального, ледникового и водноледникового генезиса. На локальных территориях с поверхности распространены техногенные грунты. Мощность зоны аэрации на большей части исследуемой территории не превышает 1,0 м.

Наибольшие концентрации компонентов-загрязнителей сульфат-иона и фосфат-иона наблюдаются в зоне аэрации на западном участке в непосредственной близости от размещения отвалов фосфогипса. В распределении концентраций анализируемых элементов в зоне аэрации нет единой выраженной закономерности. Наблюдается разнонаправленный характер изменения концентраций с глубиной, что требует детализации исследований по изучению водно-физических свойств горных пород в зоне аэрации.

Статья подготовлена при финансовой поддержке гранта Белорусского Республиканского Фонда Фундаментальных Исследований в рамках выполнения задания «Закономерности трансформации экологических функций геосфер в районах крупных горнопромышленных регионов» № X20P-284 от 04.05.2020 г. на 2020-2022 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СТБ 17.13.05-36-2015 Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной почвенной вытяжки

STUDY OF THE STRUCTURE OF THE AERATION ZONE AND THE DISTRIBUTION OF POLLUTING COMPONENTS IN THE ZONE OF INFLUENCE OF THE GOMEL CHEMICAL PLANT

O.V. Shershnyov, gomegeo@yandex.ru, A.I. Pavlovskii aipavlovsky@mail.ru, A.F. Akulevich, aakulevich@gsu.by

Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Republic of Belarus

Abstract. The aeration zone is a natural protection of groundwater from pollution from the earth's surface. The spatial differentiation of the thickness and geological structure of the aeration zone in the zone of influence of the Gomel Chemical Plant has been studied. The factors influencing the formation of the thickness the aeration zone have been established. The analysis of the distribution of contaminating components along the profile of the aeration zone has been carried out. The absence of a clear regularity in their distribution has been established, which requires detailed research on the study of the water-physical properties of rocks in the aeration zone.

Keywords: aeration zone, rocks, groundwater, industrial waste, polluting components.

**ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ РАЗРАБОТОК МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ
ЛИТОСФЕРЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Шеринёв О.В., Павловский А.И.,

*Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины
ул. Советская, 104, 246003 г. Гомель, Республика Беларусь*

*Олег Владимирович Шеринёв, e-mail: natstudy@yandex.ru,
Александр Илларионович Павловский, e-mail: aipavlovsky@mail*

Аннотация. Рассмотрено состояние минерально-сырьевой базы и региональная структура производства в горнодобывающей промышленности Республики Беларусь. Приведены результаты оценки техногенных изменений экологических свойств литосферы, характерные для территорий разработки месторождений полезных ископаемых, представляющих собой природно-техническую эколого-геологическую систему, относящуюся к горнодобывающему классу. Установлено, что данный класс природно-технических систем характеризуется широким распространением негативных эколого-геологических условий. Характерным системообразующим фактором в пределах анализируемых территорий является глубинное механическое, химическое и физическое преобразование литосферы.

Ключевые слова: литосфера, геологическая среда, экологические функции, месторождения полезных ископаемых, техногенное воздействие, преобразование рельефа, загрязнение.

Ресурсная экологическая функция литосферы (ЭФЛ) заключается в ее потенциальной способности обеспечения потребностей биоты (экосистем) абиотическими ресурсами, в том числе и потребностей человека теми или иными полезными ископаемыми [4].

Производственная деятельность многих промышленных предприятий Республики Беларусь обеспечивается более, чем 30 видами минерального сырья (рис. 1). По степени готовности к использованию выделяются месторождения с детально разведанными запасами сырья, которые экономически целесообразно и технически возможно разрабатывать в настоящее время (нефть, торф, калийная и каменная соли, доломиты, сапропели, формовочные пески и другие строительные материалы); не подготовленные пока к промышленному освоению, степень изученности которых еще не позволяет проектировать их освоение и требует проведения дополнительных геологоразведочных работ и разработки новых технологических способов добычи и комплексной переработки сырья (бурые угли, горючие сланцы, железные руды, цеолит-содержащие силициты, каолины,

гипс, давсонит, редкие металлы и высокоминерализованные рассолы); перспективные площади, по которым существуют научно обоснованные предпосылки выявления на них промышленных типов минерального сырья после проведения дополнительных геологоразведочных работ (фосфориты, глауконит, пирофиллит, янтарь, алмазы, сырье для изготовления минеральных волокон, редкие, цветные и благородные металлы) [1]. К настоящему времени насчитывается 2161 месторождений минерального сырья готовых к использованию, из которых разрабатывается 948 месторождений.

В региональной структуре производства в горнодобывающей промышленности за период 2015–2019 гг. прослеживается высокая концентрация разрабатываемых месторождений основных полезных ископаемых на территории Гомельской области (в пределах Припятского прогиба) (рис. 2).

Наибольший удельный вес в горнодобывающей промышленности приходится на Гомельскую область за счет добычи нефти, строительного и облицовочного камня, песков, каменной соли. Высокий удельный вес у Брестской области обеспечивается за счет добычи строительного камня и торфа, а Минской области – за счет добычи калийных солей, торфа и строительных материалов. Остальные области имеют меньший удельный вес в объеме промышленного производства, и их специализация заключается в добыче агрохимического индустриального и индустриально-строительного сырья, например, мела и строительных песков – в Могилевской и Гродненской области, доломитов и строительных песков – в Витебской области. Так же наблюдается диспропорция региональной обеспеченности запасами, например, в Гродненской области в дефиците сырья для цементной промышленности, в Гомельской – кварцевые пески для стекольной промышленности.



Рисунок 1 – Наиболее крупные разрабатываемые месторождения полезных ископаемых Беларуси: 1 – район добычи нефти, природного газа и газо-конденсата; 2 – калийные соли;

3 – каменные соли; полезные ископаемые, используемые для производства цемента: 4 – мел, 5 – мергель и мел, 6 – пески, 7 – глины, 8 – супеси; песок и доломит, используемые для производства стекла: 9 – доломиты (в том числе для производства доломитовой муки, дробленого доломита, минеральных порошков для кровельного рубероида, асфальтобетонных покрытий и других материалов), 10 – пески; 11 – строительный камень; 12 – карбонатно-кремнеземистые породы (трепел). Составлено авторами на основании [2, 3].

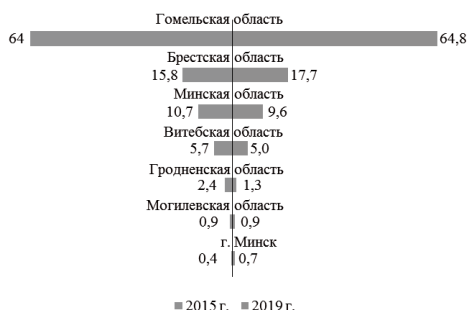


Рисунок 2 – Структура объема производства горнодобывающей промышленности в Республике Беларусь, %. Составлено авторами на основании [2, 3].

Экологические последствия изменения качества ресурса геологического пространства проявляются в воздействии на естественные микробио- и фитоценозы, животный мир и население горнодобывающих районов. Индивидуальные экологические последствия, как правило, обусловлены составом и технологиями извлечения и переработки полезных ископаемых.

Трансформация геодинамической и геохимической ЭФЛ в пределах горнопромышленных территорий. Геодинамическая ЭФЛ заключается в способности литосферы влиять на состояние биоты, безопасность и комфортность проживания человека в результате воздействия природных и техногенных геологических процессов, и явлений. Геохимическая ЭФЛ определяет способность природных и искусственных геохимических обстановок влиять на состояние экосистем различных уровней организации [4].

Разработка месторождений полезных ископаемых на территории Беларуси осуществляется тремя способами: шахтным, открытым (карьерным) и скважинным. Анализ разнообразия видов минерального сырья и способов его разработки на территории Беларуси дает основание для выделения ряда видов технических систем возникающих при разработке полезных ископаемых, среди которых шахтно-отвалный, карьерно-отвалный, выемочный и скважинный виды технических систем.

На стадии разработки месторождения полезного ископаемого определяющую роль в воздействиях на геологическую среду играет технология его разработки. При разработке полезных ископаемых на территории Беларуси наиболее распространенными являются 3 технологических метода получения минерального сырья:

1. Механический метод используется при добыче преимущественно твердых полезных ископаемых шахтным или карьерным способом;
2. Взрывной метод наиболее применим при разработке твердых полезных ископаемых в случае наличия пород, не поддающихся механическому воздействию;
3. Скважинная технология и ее модификации является основным при извлечении из недр жидких и газообразных полезных ископаемых.

Анализируя указанные методы изыятия минеральных образований из геологической среды можно констатировать, что для каждого из этих методов присущи определенные виды воздействий, проявляющиеся в разных масштабах и интенсивности, со своими специфическими особенностями, дифференцированными для той или иной технической системы.

Таким образом, каждый выделенный вид технической системы характеризуется специфическими особенностями техногенных воздействий на геологическую среду, которые в свою очередь приводят к трансформации геодинамической и геохимической ЭФЛ (табл. 1).

Таблица 1 – Техногенные воздействия на геологическую среду в пределах разработок полезных ископаемых Беларуси

Класс и под-класс воздей-ствия		Тип воздействия	Вид воздействия	Источник воздействия	Вид техни-ческой системы
Физическое	Механическое	Уплотнение	Статическое	Инженерные сооруже-ния ГОК, отвалы, тер-риконы	ШО*, КО
			Виброуплотнение	Карьерные самосвалы, буровые установки	КО
			Укатывание	Подготовка основания шламохранилищ, са-мосвалы, экскаваторы, бульдозеры, погрузчи-ки	КО, ШО, В, С
			Взрывоуплотне-ние	Взрывные работы (взрывные скважины, шпуры)	КО
		Разуплотнение	Статическая на-грузка	Шахты	ШО
			Динамическая нагрузка	Карьеры, взрывные работы	КО
		Внутреннее разрушение	Бурение	Буровые скважины	С
			Фрезерование	Фрезерная обработка на торфяных почвах (фрезермашины)	В
			Дробление (бу-рение), резанье, скол	Шахтная разработка (проходческие ком-байны)	ШО
			Экскавация	Открытая разработка (экскаваторы, бульдо-зеры, скреперы)	КО
			Взрывное разру-шение	Взрывные работы (взрывные скважины, шпуры)	КО
		Аккумуляция рельефа	Образование терриконов	Шахты	ШО
			Отвалообразова-ние	Карьеры	КО
			Возведение насыпей	Пионерные насыпи, насыпи ограждающих дамб шламохранилищ, амбаров	ШО, С
		Планировка рельефа	Строительная и дорожная плани-ровка	Буровые площадки, ГОК, карьерные и подъездные дороги	ШО, КО, С
			Рекультивация	Объекты рекультива-ции	ШО, КО, В, С

	Гидро-механическое	Эрозия рельефа	Формирование выемок	Шламохранилища, карьеры, каналы	ШО, КО
			Образование мульд проседания и опускания	Шахты, территории разработок углеводородного сырья	ШО, С
		Гидроаккумуляция рельефа	Намыв шлама	Шламохранилища	ШО
		Внутреннее разрушение	Гидравлическое разрушение	Гидравлический разрыв пласта	С
	Гидродинамическое	Повышение напора (уровня)	Нагнетание	Вторичные методы воздействия на нефтяные пласты (нагнетательные скважины)	С
			Подтопление	Утечки, стоки, аварийные сбросы	ШО, КО, С
		Снижение напора (уровня)	Откачки	Водозаборы, водоотливы из карьеров, осушительные работы в подземных горных выработках	ШО, КО, С
	Термическое	Нагревание	Нагнетание теплоносителя, нагрев призабойной зоны	Увеличение нефтеотдачи пластов	С
	Физико-химическое	Выщелачивание	Кислотные обработки	Увеличение нефтеотдачи пластов	С
	Химическое	Закрепление грунтов	Цементация, бетонирование	Устройство противофильтрационных завес, крепление шахтных стволов, тампонируание скважин	ШО, С
		Загрязнение	Нагнетание	Буровые работы, газовые и химические методы повышения нефтеотдачи (нагнетательные скважины)	С
			Подтопление	Утечки, стоки, аварийные сбросы, амбары, шламохранилища, отвалы, терриконы, циркуляционные системы жидкостей, трубопроводы, добывающие скважины	ШО, КО, С

Биологическое	Загрязнение	Нагнетание	Микробиологические методы повышения нефтеотдачи (нагнетательные скважины)	С
---------------	-------------	------------	---	---

*Виды технических систем: ШО – шахтно-отвальная, КО – карьерно-отвальная, В – выемочная, С – скважинная.

Проведенное исследование показало, что в пределах горнопромышленных районов важным системообразующим фактором является перераспределение глубинного минерального вещества между компонентами окружающей среды. При открытой добыче полезных ископаемых глубинные породы в виде буровзрывной пыли распространяются на расстояния за пределы карьерной разработки. Вскрышные породы складываются на поверхности, формируя качественно новый техногенный рельеф, который образует новые площади водосбора, значительно отличающиеся от первоначальных.

Установлено, что важным системообразующим фактором являются измененные гидродинамические условия, сопровождающиеся образованием крупных депрессионных воронок. В результате происходит отмирание малых рек, загрязнение и обмеление более крупных.

Характерной особенностью анализируемых природно-технических систем является образование техногенных поверхностных водотоков, формирующихся из дренажных вод карьеров и осветленных вод хвостохранилищ.

Выявлено, что важным системообразующим фактором территорий горнодобывающего класса является отчуждение территорий под карьеры отвалы. Производится снятие плодородного слоя и его селективное складирование. Однако почвы в отвалах быстро выветриваются и теряют свои природные свойства.

Таким образом, исследуемые объекты горнодобывающего класса являются примером преобразования естественных природных условий и возможного дальнейшего трансформирования экологических функций литосферы.

Статья подготовлена при финансовой поддержке гранта Белорусского Республиканского Фонда Фундаментальных Исследований в рамках выполнения задания «Закономерности трансформации экологических функций геосфер в районах крупных горнопромышленных регионов» № Х20Р-284 от 04.05.2020 г. на 2020-2022 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковхуто, А.М. Прогнозирование экспорта и импорта минеральных ресурсов Республики Беларусь до 2020 г. и его влияние на торговый баланс / А.М. Ковхуто, Л.А. Шакалов // Новости науки и технологий. – №1–2 (24–25). – 2013. – С. 66–75.
2. Промышленность Республики Беларусь: стат. сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2013. – 264 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by>
3. Промышленность Республики Беларусь: стат. сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2020. – 52 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by>
4. Трофимов, В.Т. Экологические функции литосферы и их трансформация в эпоху техногенеза / Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический // В.Т. Трофимов, Т.А. Барабошкина, А.Д. Жигалин [и др.]. – т. 80. – Вып. 6. – 2005. – С. 42–55.

ASSESSMENT OF THE IMPACT THE DEVELOPMENT OF MINERAL DEPOSITS ON THE ECOLOGICAL FUNCTIONS OF THE LITHOSPHERE OF THE REPUBLIC OF BELARUS

*O.V. Shershnyov, natstudy@yandex.ru, A.I. Pavlovskii aipavlovsky@mail.ru
Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Republic of Belarus*

Abstract. The state of the mineral resource base and the regional structure of production in the mining industry of the Republic of Belarus are considered. The results of assessing the technogenic changes in the ecological properties of the lithosphere, characteristic of the territories of development of mineral deposits, which are a natural-technical ecological-geological system belonging to the mining class, are presented. It has been established that this class of natural and technical systems is characterized by widespread negative ecological and geological conditions. A typical system-forming factor within the analyzed territories is deep mechanical, chemical and physical transformation of the lithosphere.

Keywords: lithosphere, geological environments, ecological functions, mineral deposits, technogenic impact, relief transformation, pollution.

ТЕХНОГЕННАЯ НАГРУЗКА В РАЙОНЕ РАЗРАБОТКИ СТАРОБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ

Шишкова И.И., Павловский А.И.

*Учреждение образования «Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины», Республика Беларусь,*

г. Гомель, ул. Советская, 104

Шишкова Ирина Игоревна, e-mail: phacops14@mail.ru

Аннотация. Проведен анализ техногенной нагрузки в районе разработки Старобинского месторождения калийных солей. В результате интенсивной отработки калийных горизонтов происходит трансформация верхней части литосферы в Солигорском промышленном районе. Техногенные образования в виде солеотвалов, шламохранилищ, дамб, «мульд погружения» каналов и карьеров создали в районе города Солигорска специфический промышленный ландшафт. Этот техногенный комплекс, не имеющий себе равных в Республике Беларусь по своим размерам и масштабам, отрицательно воздействует на геологическую среду. Автором на основе имеющихся данных в РУП «Научно-производственный центр по геологии» составлена карта-схема общей оценки состояния окружающей среды Солигорского района, а также выделено 5 геоэкологических зон Солигорского района и дана их характеристика.

Ключевые слова: калийные соли, техногенная нагрузка, трансформация литосферы, геоэкологические зоны.

Введение

Старобинское месторождение калийных солей является одним из крупнейших калийных месторождений мира (площадь около 350 км²). Расположено в южной части Минской области Республики Беларусь. По своему строению представляет собой пологую (угол падения – 1-3°) пластовую залежь, состоящую из четырех калийных горизонтов – с первого по четвертый (сверху вниз). Расстояние между калийными горизонтами составляет от 50-60 метров (между первым и вторым) до 150-200 метров (между вторым и третьим, а также между третьим и четвертым).

Сегодня основное производство ОАО «Беларуськалий» расположено в Солигорске и в Петрикове и включает семь рудников и пять обогатительных фабрик. За несколько лет было построено два рудника, решив на несколько десятилетий вопрос надежной сырьевой базы – Краснослободский и Березовский рудник. В мае 2019 года начаты работы по строительству Дарасинского рудника. Также ОАО «Беларуськалий» в

2021 году запустило в эксплуатацию полноценный горно-обогатительный комбинат на Петриковском месторождении (Гомельская область).

Важным аспектом техногенной оценки Солигорского промрайона является изучение трансформаций верхней части литосферы под влиянием новейших геодинамических процессов [1]. С эндогенной геодинамикой связана активизация деструктивных явлений, влияющих на ход развития геологической среды. Вдоль линий тектонических нарушений (разломов, зон трещиноватости) отмечается заметное усиление экзогенных процессов (развитие просадок, заболачивание, эрозия), в том числе вызванных горно-промышленным фактором. Новейшей геодинамикой контролируется пространственное распределение сейсмических событий, приносящих значительный социально-экономический ущерб.

В результате интенсивной отработки калийных горизонтов Старобинского месторождения в земных недрах происходит перераспределение тектонических напряжений, что способствует образованию систем трещин в массивах горных пород, активизации газодинамических явлений, возникновению местных землетрясений. Формирование техногенно обусловленных геодинамических процессов контролируется, прежде всего, дизъюнктивной неотектоникой. В связи с этим изучение разломов, активных в позднеолигоцен-антропогенный период (последние 30 млн. лет), имеет в настоящее время важное значение при решении эколого-геологических задач в Солигорском промышленном районе [2, 3].

Цель исследования – оценить техногенное воздействие на геологическую среду в районе разработки месторождения, а также провести эколого-геологический анализ изучаемого района и оценить экологическое состояние геологической среды.

Материал и методы исследования

Теоретической основой исследования стали труды ведущих специалистов в области экологической геологии В.И. Вернадского, В.С. Преображенского, В.Т. Трофимова, Д.Г. Зилинга, Г.С. Горшкова.

Информационной основой для исследования послужили материалы, предоставленные РУП «Научно-производственный центр по геологии» (Республика Беларусь), а также фондовые материалы ОАО «Беларуськалий».

Для решения поставленных задач использовался комплекс методов исследования: теоретический анализ литературных источников, картографический, дешифрирования дистанционных данных, аналитическая обработка полученных материалов.

Результаты исследования

В структурном отношении Старобинское месторождение калийных солей приурочено к северо-западной центриклинальной части Припятского прогиба. Анализ дизъюнктивной неотектоники Старобинской центрикли-

нали показывает, что преобладающее простирание активных разломов согласуется с «припятским» направлением 287° , а также с ортогональной ориентировкой линейных структур $45-315^\circ$, отличавшихся наибольшей мобильностью в позднеолигоцен-антропогенный период. Субширотные системы линеаментов шириной 1,0-2,5 км устанавливаются над зонами Северо-Припятского, Червонослободского, Ляховичского, Речицкого и других разломов платформенного этапа заложения. Они представляют собой разрывы сбросово-сдвигового типа с амплитудой смещения по поверхности фундамента от нескольких сотен метров до 1,3 км [2].

По данным сейсмических исследований в течение последних лет установлено, что сейсмособытия происходящие в пределах Старобинской центриклинали Припятского прогиба, сконцентрированы в определенных областях, приуроченных к неотектонически активным дизъюнктивным нарушениям [2]. К техногенным причинам возникновения чрезвычайных сейсмических ситуаций в промрайоне следует отнести также воздействие солеотвалов, шламохранилищ и Солигорского водохранилища на верхнюю часть литосферы. Эти объекты над выработанными шахтными полями ведут к перераспределению напряжений и нарушению изостатического равновесия в земных недрах, увеличивают сейсмический риск на территории [2].

В зонах тектонических нарушений происходят просадки земной поверхности в результате отработки калийных горизонтов – так называемые «мульды сдвижения». Такие явления наиболее широко распространены в пределах шахтных полей. Они сопровождаются трансформацией рельефа, активизацией водной эрозии и процессов заболачивания. Характер развития подобных форм зависит от геодинамического режима, строения зоны аэрации, глубины залегания уровня грунтовых вод и других ландшафтных особенностей.

«Мульды сдвижения» имеют четкие контуры в пределах моренных ландшафтов, плавные или расплывчатые очертания на участках водноледниковых ландшафтов. Размеры мульды в поперечнике колеблются от нескольких десятков до первых сотен метров. Глубина прогибания таких форм до 3–5 м, крутизна склонов от $5-8^\circ$ до $10-15^\circ$ [2, 3, 4].

Основным техногенным процессом, определяющим изменение геологической среды в Солигорском промышленном районе, является подземная отработка калийных горизонтов и складирование на поверхности земли отходов извлечения калийной соли из добытой руды [1, 2, 3]. При переработке сильвинитовых руд на предприятиях ОАО «Беларуськалий» около 75% их объема переходит в отходы. Складирование на поверхности земли значительных объемов отходов обогащения (твердые галитовые – в солеотвалы, пульпообразные глинисто-солевые шламы – в шламохранилища) вызывает негативные изменения всех компонентов природной среды.

Техногенные образования создали в районе г. Солигорска внушительный по размерам промышленный ландшафт, состоящий из солеотвалов (перепады высот до 135 м) и пространств шламохранилищ с ограждающими дамбами высотой до 15 м. Солеотвалы, шламохранилища, дамбы, мулды оседания поверхности, карьеры, мелиоративные каналы и другие техногенные объекты образуют техногенный комплекс, не имеющий себе равных в республике по своим размерам и масштабам отрицательного воздействия на геологическую среду (рисунок 1, рисунок 2).

Солевые отходы из солеотвалов и шламохранилищ, складированные на земной поверхности, выщелачиваются в результате воздействия атмосферных осадков. Дождь и снег образуют избыточные (не используемые в технологическом процессе) рассолы, насыщенные NaCl и в меньшей степени KCl. Минерализация этих рассолов составляет 260-350 г/л, что близко к солесодержанию пластовых рассолов глубоких водоносных горизонтов. При этом их объем ежегодно увеличивается, что связано с расширением площадей под складирование отходов.

Несмотря на защитные экраны, накапливающиеся хлоридно-натриевые насыщенные рассолы фильтруются в подстилающие грунты и водоносные горизонты, что подтверждается многолетними режимными гидрохимическими и геофизическими наблюдениями, а также выходом из строя ряда скважин на водозаборах из-за загрязнения пресных подземных вод [1, 2, 3].

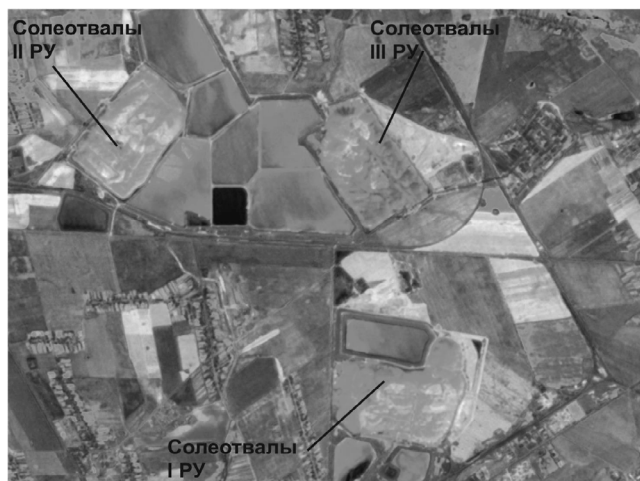


Рисунок 1 – Солеотвалы Солигорского месторождения (фрагмент космоснимка по данным РУП «Научно-производственный центр по геологии»)

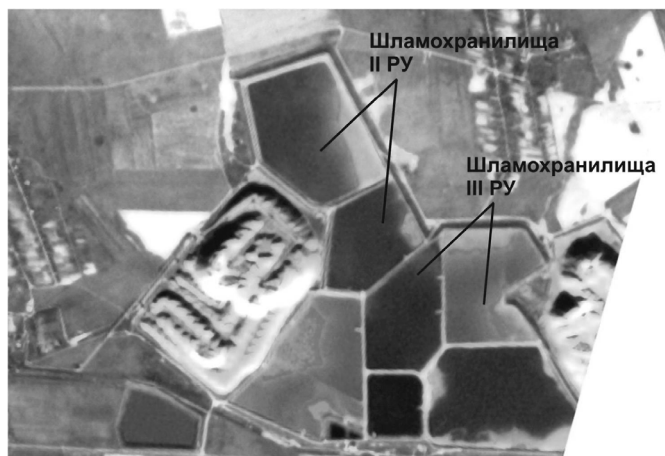


Рисунок 2 – Шламохранилища Солигорского месторождения (фрагмент космоснимка по данным РУП «Научно-производственный центр по геологии»)

По В.М. Гольдбергу [5], состояние подземных вод в зоне влияния калийных комбинатов относится ко II (с негативными изменениями, C 3-5 C_{ϕ}) и III (кризисное состояние, C 5-10 C_{ϕ}) классам состояния, а по некоторым химическим элементам – к IV классу (бедственное состояние, $C > 10 C_{\phi}$).

В целом последствия воздействия горнодобывающей промышленности на поверхностную и подземную гидросферу следующие. При оседании поверхности на 3-5 м происходят [1, 2, 3, 6]: заболачивание и подтопление; уменьшение зоны аэрации; изменение режима грунтовых и поверхностных вод; ухудшение качества вод в результате сброса высокоминерализованных сточных вод. При понижении зеркала подземных вод истощается горизонт грунтовых вод вплоть до его исчезновения, понижается уровень воды на площадях и в скважинах водозаборов.

Техногенная нагрузка вызвала негативные изменения во всех компонентах геологической среды. Преобладают следующие процессы:

- загрязнение атмосферного воздуха,
- загрязнение почвенного покрова,
- загрязнение поверхностных и подземных вод,
- подтопление и заболачивание территории,
- техногенный соляной карст,
- осадочные деформации – осадки под солеотвалами (литификация и уплотнение пород в их основании),

– фильтрационная консолидация в накопителях твердых и жидких отходов,

– ветровая эрозия поверхности терриконов.

По результатам исследований на территории Солигорского района по состоянию геологической среды выделено 5 зон (рисунок 3, таблица 1):

– зона экологической нормы;

– зона экологической нормы при условии проведения отдельных природоохранных мероприятий;

– зона неустойчивого (нестабильного) экологического состояния;

– зона экологического кризиса;

– зона экологической катастрофы.

Вывод

Солигорский район относится к числу территорий Беларуси, где воздействие человека на земную поверхность является максимальной, хотя и не равномерной. Среднее значение коэффициента техногенной преобразованности (объем техногенных форм на 1 км²) составляет 108 тыс. м³/км² при максимальных значениях в зоне калийных комбинатов – свыше 35 000 тыс. м³/км², на площади мелиоративных систем – до 100 тыс. м³/км².

Устойчивость рельефа к дальнейшему наращиванию техногенных нагрузок на 80% территории довольно высокая, на 20% – низкая, а в районе калийных комбинатов она равна нулю, т.к. здесь сформировался техногенный бедленд на площади около 1200 га.

На территории Солигорского района по состоянию геологической среды выделено 5 зон.

С учетом сложившейся в районе геоэкологической ситуации необходимо провести ряд мероприятий, направленных на снижение неблагоприятных последствий проявления современных геологических процессов, загрязнения покровных отложений, подземных вод и атмосферы токсичными веществами. В число таких мероприятий входит (носят рекомендательный характер):

– отселение населения, проживающего в зоне экологической катастрофы;

– решение проблем избыточных рассолов, утилизации галитовых и шламовых отходов, противоэрозионных покрытий отработанных участков солеотвалов, закачки рассолов в глубокие горизонты;

– создание эффективных очистных сооружений, организация замкнутой системы водооборота, изменение технологии промышленного производства, биологическая рекультивация;

– расчистка рек, водоемов и колодцев, оборудование водозаборов, создание аккумуляторов для сбора поверхностных и дренажных стоков, использование системы обвалования рек, озер, водохранилищ, создание

геохимического поглотительного барьера из местного моренного материала, рекультивация карьеров;

- использование для водоснабжения более глубокие водоносные горизонты – межморенные, подморенные и др.;

- организация тщательного экологического мониторинга территории разработки месторождения.

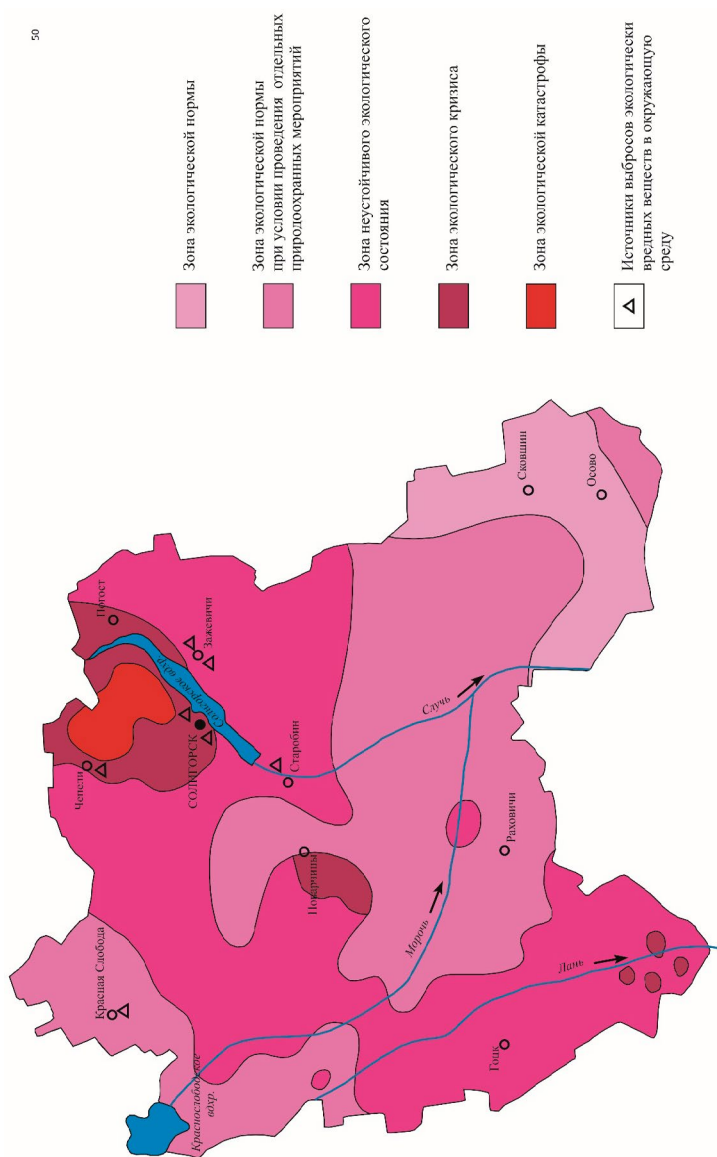


Рисунок 3 – Карта-схема общей оценки состояния окружающей среды Солигорского района (составлена автором по данным РУП «Научно-производственный центр по геологии»)

Таблица 1 – Общая оценка состояния геологической среды Солигорского района

Геологические зоны	Факторы, определяющие состояние геологической среды				
	Степень техногенной преобразованности рельефа	Опасные геологические процессы (природные и техногенные)	Минерализация грунтовых вод, г/л (тип вод)	Выпадение солей в почвы за счет ветрового переноса, г/га в сутки	Накопление химических элементов
Зона экологической нормы	очень слабая	отсутствуют	естественная (гидрокарбонатно-кальциевый)	практически отсутствует	не наблюдается
Зона экологической нормы при условии проведения отдельных природоохранных мероприятий	слабая	минерализация органоминеральных отложений, эоловые процессы	не превышает 1, разовые превышения ПДК по нитратам (гидрокарбонатно-кальциевый)	менее 100	наблюдается тенденция к накоплению Zn, Cd, V, Cr, Pb, Ni
Зона неустойчивого (нестабильного) экологического состояния	значительная	минерализация органоминеральных отложений, эоловые процессы, плоскостной смыв	до 1,5-2,0 (хлоридный)	менее 100, разовые до 300	накопление Zn, Ti, Mn, B, на отдельных участках - Cd, Zn и Pb
Зона экологического кризиса	высокая	снижение уровня подземных вод, подтопление и заболачивание, засоление, плоскостной смыв, минерализация органоминеральных отложений	1-3,5 (хлоридный)	100-300, максимальное поступление до 400	накопление B, Cu, Pb, Zn
Зона экологической катастрофы	техногенный рельеф	просадки земной поверхности, снижение уровня подземных вод, подтопление и заболачивание, засоление, эрозия терриконов (водная и ветровая),	более 3,5 (хлоридный)	400 и более	накопление Zn, Cd, Cu, V, Cr, Pb, Ni Cl, B, S

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ясовеев, М.Г. Геоэкологические исследования в условиях техногенеза // Вестн. Белорус. ун-та. 2001. - № 3. - С. 115-121.
- 2 Экология геологической среды: учеб. пособие / В.Н. Губин, А.А. Ковалев, С.А. Сладкопевцев, М.Г. Ясовеев. – Мн.: БГУ, 2002. – 120 с.
- 3 Экология горного производства: учеб. для вузов / Г.Г. Мирзаев, Б.А. Иванов, В.М. Щербаков, Н.М. Проскуряков. – М.: Недра, 1991. – 320 с.
- 4 Шишкова, И.И. Особенности геологического строения Старобинского месторождения калийных солей по данным геофизических методов: курсовая работа. – Гомель, ГГУ им. Ф.Скорины, 2009. – 46 с.
- 5 Высоцкий, Э.А., Демидович, Л.А., Клементьев, В.П. Проблемы рационального использования Старобинского месторождения калийных солей и охраны окружающей среды // Вестн. Белорус. ун-та. 1993. - №1. – С. 70-72.
- 6 Экологические функции литосферы / Под ред. В.Т. Трофимова. – М.: Изд-во МГУ, 2000. – 432 с.

TECHNOGENIC LOADING IN THE AREA OF STAROBINSKY POTASSIUM SALT DEVELOPMENT

I.I. SHISHKOVA

*Educational institution «Francysk Skaryna Gomel state University»,
Republic of Belarus, 246019, Gomel, Sovetskaya str., 104
phacops14@mail.ru*

Annotation. an analysis of the technogenic load in the development area of the Starobinskoye potash salt deposit was carried out. As a result of intensive mining of potash horizons, the upper part of the lithosphere is being transformed in the Soligorsk industrial region. Technogenic formations in the form of salt dumps, sludge storage ponds, dams, "immersion troughs" of canals and quarries have created a specific industrial landscape in the area of the city of Soligorsk. This technogenic complex, which is unmatched in the Republic of Belarus in terms of its size and scale, negatively affects the geological environment. On the basis of the available data in the RUE "Scientific and Production Center for Geology", the author has drawn up a schematic map of the general assessment of the state of the environment of the Soligorsk region, and also identified 5 geoecological zones of the Soligorsk region and gave their characteristics.

Key words: potassium salts, technogenic load, transformation of the lithosphere, geoecological zones.

Для заметок

Для заметок

Научное издание

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ
ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ГЕОСФЕР КРУПНЫХ
ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ РЕГИОНОВ

Сборник научных статей

Издание публикуется в авторской редакции
и авторском наборе

Подписано в печать 04.04.2022. Формат 60×84/16
Усл. печ. л. 10. Тираж 200 экз. Заказ 48

ООО Издательство «Научная книга»
г. Москва, ул. Большая Очаковская, 47а, стр. 1, к. 104

Отпечатано в типографии ООО ИПЦ «Научная книга»
394026, г. Воронеж, Московский пр-т, 11/5
Тел.: +7 (473) 220-57-15, 296-90-83
<http://www.n-kniga.ru> E-mail: typ@n-kniga.ru



ISBN: 978-5-6047885-3-0



9 785604 788530