

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ГЕОСФЕР КРУПНЫХ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ РЕГИОНОВ



**Гомель
2022**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Учреждение образования

«Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины»

Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования
«Воронежский государственный университет»

Учреждение образования

«Витебский государственный университет имени П. М. Машерова»

Государственное учреждение

«Центр геофизического мониторинга НАН Беларуси»

Белорусская национальная группа международной ассоциации
по инженерной геологии и окружающей среде (IAEG)

Гомельский областной отдел общественного объединения
«Белорусское географическое общество»



ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ГЕОСФЕР КРУПНЫХ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ РЕГИОНОВ

II Международная научно-практическая конференция

(Гомель, 10–15 мая 2022 года)

Сборник материалов

Научное электронное издание

Гомель

ГГУ им. Ф. Скорины

2022

ISBN 978-985-577-853-1

© Учреждение образования
«Гомельский государственный
университет имени
Франциска Скорины», 2022

Закономерности трансформации экологических функций геосфер крупных горно-промышленных регионов [Электронный ресурс] : сборник материалов II Международной научно-практической конференции (Гомель, 10–15 мая 2022 года) / М-во науки и высшего образования Российской Федерации, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины, Воронежский гос. ун-т, Витебский гос. ун-т им. П. М. Машерова, ГУ «Центр геофиз. монит-га НАН Беларуси», Бел. нац. группа межд. ассоциации по инж. геологии и окруж. среде (IAEG), Гомельский обл. отдел обществ. об-ния «Белорусское геогр. о-во»; редкол. : А. И. Павловский (гл. ред.) [и др.]. – Электрон. текст. данные (7,72 МБ). – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2022. – Системные требования: IE от 11 версии и выше или любой актуальный браузер, скорость доступа от 56 кбит. – Режим доступа: <http://conference.gsu.by>. – Заглавие с экрана.

В сборнике материалов конференции представлены результаты исследований трансформации экологических функций различных геосфер в техногенно нагруженных районах. Тематика докладов охватывает следующие направления: геологическое пространство и его экологические функции, химический состав поверхностных и подземных вод, геофизических полей техногенного и природного происхождения, космический мониторинг геологической среды.

Материалы сборника представляют интерес для специалистов, осуществляющих деятельность в области прогноза и экологического сопровождения деятельности горнодобывающих и горноперерабатывающих предприятий, преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов геологических и географических специальностей.

Сборник материалов конференции «Закономерности трансформации экологических функций геосфер крупных горнопромышленных регионов» издан при поддержке грантов РФФИ № 20-55-00010/20 и БРФФИ № X20P-284.

Сборник публикуется в соответствии с оригиналом, подготовленным редакционной коллегией, при участии издательства.

при поддержке
Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований
(договор № X20P–284 от 04.05.2020 г.),
Российского фонда фундаментальных исследований
(договор № 20-55-00010 от 30.04.2020 г.)

Редакционная коллегия:

А. И. Павловский (главный редактор),
А. П. Гусев, И. И. Косинова, А. Н. Галкин, И. А. Красовская,
М. А. Багдасаров, С. В. Андрушко, В. Л. Моляренко, Н. В. Сасина

ГГУ имени Ф. Скорины
246028, Гомель, ул. Советская, 104
Тел.: 50-49-03, 51-01-15, 51-00-31
<http://www.gsu.by>

© Учреждение образования
«Гомельский государственный
университет имени Франциска
Скорины», 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Трофимов В. Т., Харьковина М. А., Барыкина О. С. Геологическое пространство, его экологические функции и неизбежность их трансформации в горнодобывающих регионах.....	5
Косинова И. И., Бударина В. А., Павловский А. И. Разработка систем эффективных направлений развития горнопромышленных районов для обеспечения их экологической безопасности и комфортности среды обитания.....	9
Павловский А. И., Галкин А. Н., Косинова И. И., Шершнев О. В., Андрушко С. В., Красовская И. А., Моляренко В. Л. Оценка состояния депонирующих и транзитных сред в пределах горнопромышленного производства Республики Беларусь.....	18
Аронов Г. А., Косинова И. И. Сейсмотектонический потенциал активной зоны Северо-Припятского суперрегионального разлома.....	27
Губин В. Н. Космический мониторинг геологической среды в Солигорском горнопромышленном районе.....	31
Жигалин А. Д., Лавров В. С., Архипова Е. В., Анисимова О. В. Мониторинг эколого-геофизической обстановки при разработке месторождений твердых полезных ископаемых.....	36
Аронов А. Г., Аронова Т. И., Егорова В. А., Курсевич А. А., Мартинович Ю. В., Орловский В. Ч., Раецкая О. С., Сасина Н. В., Терещенко К. В. Инструментальная оценка сейсмического воздействия промышленных взрывов на гранитном карьере «Микашевичи» в Беларуси.....	42
Надежка Л. И., Сизаск И. А., Сафронич И. Н. Микросейсмический шум и его временные вариации в центральной части Воронежского кристаллического массива... ..	48
Надежка Л. И., Сафронич И. Н., Семенов Е. А., Ефременко М. А. Исследование характера затухания волнового поля, возбуждаемого взрывами в карьере «Павловск»	53
Бударина В. А., Косинова И. И., Аронов А. Г., Аронов Г. А., Моляренко В. Л. Экологические аспекты горнопромышленных районов по добыче и переработке руд цветных металлов.....	59
Гусев А. П., Крупянок В. Г. <i>NDVI</i> как индикатор антропогенной динамики локальных геосистем.....	66
Шершнёв О. В., Павловский А. И., Галкин А. Н., Косинова И. И., Красовская И. А. Трансформация химического состава подземных вод в зоне влияния объектов добычи и переработки минерального сырья в Республике Беларусь.....	72
Халилова Х. Х., Мамедов В. А., Кулиева Т. Г. О влиянии нефтегазовой промышленности на изменение ландшафтов Апшеронского полуострова.....	77
Аннагулыева Э. М., Ходжаева У. А., Гапуров М. Ч., Ходжаев А. Амплитудно-частотные характеристики спектров собственных колебаний железнодорожного моста Керки-Керкичи через реку Амударья.....	82
Габиров Ф. Г., Салаева Х. Б. Исследование конструкций дренажных труб с геометрией, альтернативной круглому сечению, и разработка инновационных вариантов.....	87
Габиров Ф. Г., Габилова Л. Ф. О назначении противоэрозионных сооружений в вершинах оврагов.....	92
Кулаков А. П. Возможные геологические опасности при горнопромышленном освоении ландшафтов горной криолитозоны (на примере Удоканского медного месторождения)	97
Мележ Т. А. Влияние открытых горных выработок на геоэкологическое состояние геологической среды.....	102

Макаренко Т. В., Парфенкова А. Г. Изучение содержания кадмия в мягких тканях прудовика и донных отложениях водоемов города Гомеля и прилегающих территорий.....	105
Макаренко Т. В., Болигатова А. А. Изучение содержания меди в погруженных растениях в водоемах города Гомеля и прилегающих территориях.....	111
Хаданович А. В., Белоус Е. М. Особенности сорбции ионов никеля донными отложениями старицы реки Сож.....	115
Мележ Т. А. Месторождение песка Людвинов-2 (Петриковский район, Гомельская область)	119
Пырь О. В., Слюнькова В. В. Содержание свинца в высших растениях водных экосистем города Гомеля.....	123
Шахов С. В. Экологические аспекты переработки кизельгурового шлама.....	127
Курбатова А. А., Чернова Л. С. Техногенез горнопромышленных комплексов центральной части России в истории пандемии 2020–2021 года.....	133
Косинова И. И., Сопин Д. О., Ююкина А. Л. Эколого-геологическая оценка пылевой нагрузки при открытой разработке месторождения гранитного сырья....	137

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВО, ЕГО ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ И НЕИЗБЕЖНОСТЬ ИХ ТРАНСФОРМАЦИИ В ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ РЕГИОНАХ

В. Т. ТРОФИМОВ, М. А. ХАРЬКИНА, О. С. БАРЫКИНА

trofimov@rector.msu.ru, kharkina@mail.ru, barykina@geol.msu.ru
ФГБОУ ВО Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
г. Москва, Россия

Аннотация. *Описаны экологические последствия трансформации геологического пространства в горнодобывающих регионах, включая изъятие из хозяйственного оборота земель; сокращение площади лесов, пастбищ и ареалов обитания животных; вынужденную миграцию населения в связи с переносом населенных пунктов; дискомфорт проживания в связи с подтоплением территории городов; повышение общей заболеваемости населения; загрязнение источников питьевого водоснабжения.*

Ключевые слова: *добыча, полезные ископаемые, ареалы обитания, нарушенность, население, переселение, заболевания, отвалы, самозаращение.*

Геологическим пространством называются площадные и объемные ресурсы литосферы, которые необходимы для расселения и существования биоты, включая человека как биологический вид и человечество как социальную структуру. Геологическое пространство включает место обитания биоты, место расселения человека, пространство для размещения наземных и подземных сооружений и место захоронения отходов. Геологическое пространство характеризуется количественными и качественными показателями. Говоря о количественных показателях ресурсов для расселения биоты и человека, следует упомянуть, что только 65 % суши пригодно для освоения. Остальная часть занята безжизненными пустынями, разрушенными почвами или ледниковым покровом. Поэтому резервы для расселения биоты на суше лимитированы и оцениваются количественно. Качество ресурсов геологического пространства оценивает пригодность массива литосферы для «обживания» этой территории биологическими видами.

Состояние геологического пространства описывается через геодинамическую, геохимическую и геофизическую экологические функции литосферы. При изучении геологического пространства в горнодобывающих районах особое значение имеют *геодинамическая экологическая функция литосферы*, отвечающая за экологические последствия проявления опасных геологических процессов, а также *геохимическая экологическая функция*, отвечающая за последствия изменений в составе горных пород, донных осадков, подземных вод, почвенного слоя и снегового покрова для живых организмов [7]. *Геофизическая экологическая функция*, описывающая влияние на биоту геофизических полей и аномалий разного генезиса, в горнодобывающих районах имеет значительно меньшее значение.

В горнодобывающих регионах при разработке полезных ископаемых происходит изменение всех экологических функций литосферы, что вызывает трансформацию геологического пространства и негативные последствия у биоты (таблица 1).

Таблица 1 – Экологические последствия трансформации геологического пространства в горнодобывающих районах

Составляющие геологического пространства	Виды воздействия	Трансформация геологического пространства	Экологические последствия
Место обитания биоты	Нарушение рельефа и ландшафтов, снятие почвенного слоя	Активизация геологических процессов, изменение влажности почв при водоотводе, деградация мерзлоты при функционировании драг, карьеров, шахт и скважин	Сокращение площади лесов и ареалов обитания дикого зверя, сокращение пастбищ для сельскохозяйственных животных, потеря среды обитания почвенной биоты в пределах горного отвода при открытых разработках
Место расселения человека	Нарушение рельефа и ландшафтов, складирование на поверхности отвалов	Оседание и провалы поверхности при шахтных и скважинных разработках, изменения в минеральном составе пород верхней части разреза за счет перемещения пород с глубины	Вынужденная миграция населения, перенос населенных пунктов, повышение заболеваемости
Место размещения инженерных сооружений	Размещение карьеров, шахт и скважин	Изменение напряженно-деформированного состояния массивов за счет создания полостей. Законтурное водопонижение при карьерных и шахтных разработках, изменение уровня грунтовых вод при возникновении депрессионных воронок	Изъятие геологического пространства из оборота для другого вида хозяйственного использования
	Затопление при ликвидации шахтных полей и скважин	Подтопление застроенных территории, угроза загрязнения подземных вод на водозаборах	Дискомфорт проживания, угроза загрязнения источников питьевого водоснабжения
Место размещения и захоронения отходов	Организация хвостохранилищ, сброс рудничных вод	Изменения в составе пород, донных осадков, подземных вод, почвы и снегового покрова, возникновение локальных техногенных геохимических аномалий	Отсутствие самозащиты техногенных грунтов, деградация растительности, появление рудеральной растительности, повышение заболеваемости населения

Сужение площади лесов, пастбищ и ареалов обитания диких зверей отмечается повсеместно в районах горной добычи. Максимальная нарушенность геологического пространства, как места обитания биоты, отмечается в следующих центрах добычи и переработки полезных ископаемых: Михайловском (Курская магнитная аномалия) и Норильском районах; Бодайбо; Самотлорском, Уренгойском, Ромашкинском и других месторождениях; Хибинской группе; Прокопьевско-Киселёвском районе и других регионах России [9]. Только на юге Дальнего Востока (Приморский и Хабаровский края) в процессе освоения месторождений полезных ископаемых нарушено свыше 600 тыс. га земель. Из биологического цикла изъяты продуктивные угодья (пашни, пастбища, сенокосы), земли из Госземзапаса и Гослесфонда, на участках разработок возникают «лунные ландшафты» [4].

Сокращение ресурсов для расселения биоты происходит при разработке полезных ископаемых в криолитозоне даже шахтным способом. Образование полостей внутри массива приводит к формированию мульды оседания на земной поверхности. Мульда оседания часто заполняется водой, что способствует образованию техногенных таликов, а при неблагоприятных условиях и провалов, которые, в свою очередь, заполняются поверхностными водами и атмосферными осадками. При этом значительно сокращается ресурс для расселения сухопутной биоты.

Вынужденная миграция населения в связи с переносом населенных пунктов нередко отмечается в районах шахтной добычи. Широко известен случай переноса пос. Ташикташ в Узбекистане на р. Ахангаран с населением 20 тыс. человек по причине угрозы схода оползней объемом 700 – 800 млн. м³, названных Атчинскими, в районе угольного месторождения, разрабатываемого открытым способом, шахтным и газификацией. Атчинские оползни начали формироваться в конце 1973 г. с несколькими поверхностями смещения на глубинах от 80 до 127 м. Оба грандиозных оползня, развившихся под влиянием техногенных факторов, являются уникальными по объемам, сложности геологического строения, наличию напорных вод, механизму и длительности смещения. К переселению жителей в связи с разрушением домов приводят провалы поверхности над горными выработками. В Подмосковном буроугольном бассейне такие случаи отмечаются как над действующими шахтами, так и над пройденными более полувека назад. Потеря жилья в связи с провалами отмечены на территории Смородинского месторождения (шахта Донская), Скуратовского месторождения (шахта №6) в 1993 г., на территории месторождения Песочное [8].

Подтопление территории городов и дисконформт проживания отмечается повсеместно на подработанных горными выработками территориях. В старейших горнорудных районах Свердловской области (г. Верхняя Пышма, Березовский, Краснотурьинск и др.) угрозе подтопления подвергаются все селитебные территории [3]. Подтопление отмечается не только на территории горного отвода, но и за его пределами на периферии депрессионных воронок в пределах речных долин (долина р. Аба в зоне влияния шахты им. Орджоникидзе, Кузбасс), что негативно сказывается на ресурсном потенциале территории.

В районах горных разработок как экологическая мишень выступают не только фитоценозы, зооценозы, но и человек. Примером деградации фитоценозов являются тополь в районе уранодобывающего комплекса в г. Краснокаменск, где уран добывается горно-шахтным способом и по технологии кучного выщелачивания. По данным Л.А. Дороховой [2] в золе листьев тополей в зоне влияния уранодобывающего комплекса установлено содержание урана в 80 раз превышающее региональный фон. Что касается человека, то в основном фиксируется *рост бронхо-лёгочной патологии и общей заболеваемости населения*. Индивидуальные экологические последствия, как правило, обусловлены составом и технологией извлечения и переработки полезных ископаемых. Так, например, в районе урановых рудников фиксируется рост онкопатологии (рак кожи,

нижней губы, легких), заболеваний крови как у работников опасного производства, так и у детей и населения в целом [5, 6], в районе вольфраммолибденовых рудников отмечается молибденовая подагра и другие заболевания.

Угроза загрязнения источников питьевого водоснабжения возникает при затоплении шахтных полей после ликвидации рудников. Например, горнодобывающие работы и дренажные мероприятия в связи с полной отработкой запасов были прекращены на Дегтярном медном руднике, на Среднем Урале. В 1999 г. уровни шахтных вод достигли поверхности земли, при этом сформировался их излив в русло р. Исток. По речной сети, минуя очистные сооружения, рудничные воды вместе с речным стоком попадали в Волчихинское водохранилище, которое является основным источником водоснабжения г. Екатеринбурга [3].

Техногенные грунты отвалов в связи с высоким уровнем содержания токсикантов часто *не поддаются самозарастанию* и требуют проведения специальных мероприятий по биологической рекультивации, как это отмечается на территории упомянутого выше отработанного Дегтярного рудника на Урале.

Трансформация геологического пространства в горнодобывающих районах определяется видом и объемом добычи полезного ископаемого; уровнем внедрения природоохранных мероприятий; региональными инженерно-геологическими, геокриологическими, ландшафтно-геохимическими и климатическими особенностями, вызывая широкий спектр экологических последствий. Последние сводятся к ухудшению комфортности проживания, повышению заболеваемости и вынужденной миграции населения, а также деградации природных биоценозов, снижению качества и потере ресурса геологического пространства.

Список литературы

1. Геологическое пространство как экологический ресурс и его трансформация под влиянием техногенеза / В.Т. Трофимов [и др.]. Под ред. В.Т. Трофимова. – М. : Издательство «Академическая наука» – Геомаркетинг, 2014. – 566 с.
2. Дорохова, Л.А. Биогеохимическая индикация влияния алюминиевого и уранодобывающего производства на прилегающие территории по данным изучения листьев тополя / Л.А. Дорохова. – Автореф. дисс. на соиск. уч. степени кандидата г.-м.н. Томск, 2022. – 19 с.
3. Елохина, С.Н. Гидрогеоэкологические последствия горного техногенеза на Урале / С.Н. Елохина. – Екатеринбург : ООО «УИПЦ», 2013. – 187 с.
4. Крупская, Л.Т. Пространственная локализация (нейтрализация) негативного влияния горного производства на Земли Дальнего Востока России / Л.Т. Крупская // Эколого-безопасные технологии освоения Байкальского региона. – Улан Уде, 2000. – С. 15–18.
5. Кушнеренко, В.К. Радиогеохимические особенности и общая радиоэкологическая ситуация территории действующих железорудных комбинатов КМА / В.К. Кушнеренко [и др.]. // Освоение недр и экологические проблемы – взгляд в XXI век / Труды Междунар. конф. – М., 2000. – С. 261–264.
6. Махотин, Г.М. Оценка медико-экологической ситуации в условиях влияния территориально-промышленного комплекса Курской магнитной аномалии (г. Старый Оскол) / Г.М. Махотин // Освоение недр и экологические проблемы – взгляд в XXI век / Труды Междунар. конф. – М., 2000. – С. 73–74.
7. Трофимов, В.Т. Трансформация экологических функций литосферы под влиянием горнодобывающей промышленности / В.Т. Трофимов [и др.]. // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. Т.80. – 2005. – № 6. – С.42–55.

8. Харькина, М.А. Экологические последствия трансформации геологических процессов на территории России под влиянием различных видов антропогенных воздействий / М.А. Харькина // Геориск. – 2011. – № 4. – С. 50–57.

9. Экологический атлас. – М. : ООО «Феория», 2017. – 510 с.

GEOLOGICAL SPACE, ITS ECOLOGICAL FUNCTIONS AND THE INEVITABILITY OF THEIR TRANSFORMATION IN MINING REGIONS

V. T. TROFIMOV, M. A. KHARKINA, O. S. BARYKINA

trofimov@rector.msu.ru, kharkina@mail.ru, barykina@geol.msu.ru
Lomonosov Moscow State University,
Moscow, Russia

Abstract. *Ecological consequences of geological space transformation in mining regions are described, including removal of lands from economic turnover; reduction of forests, pastures and animal habitats; forced migration of population due to relocation of settlements; discomfort of living due to underflooding of urban areas; increase in general morbidity of population; pollution of drinking water supply sources.*

Key words: *mining, minerals, habitats, disturbance, population, relocation, diseases, dumps, self-overgrowth.*

УДК 55.553.07.-504.05/06

РАЗРАБОТКА СИСТЕМ ЭФФЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ РАЙОНОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И КОМФОРТНОСТИ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ

И. И. КОСИНОВА¹, В. А. БУДАРИНА¹, А. И. ПАВЛОВСКИЙ²

¹*kosinova777@yandex.ru*

*ФБГОУ ВО Воронежский государственный университет,
г. Воронеж, Россия*

²*airavlovsky@mail.ru*

¹*Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины,
г. Гомель, Беларусь*

Аннотация. *Значительные экологические воздействия горнопромышленных комплексов на состояние компонентов окружающей среды требуют разработки систем обеспечения экологической безопасности их территорий. Целью настоящих исследований стала разработка данной системы для горнопромышленного района по добыче и переработке руд цветных металлов. Предложена система, состоящая из комплекса опережающих и природоохранных блоков обеспечения экологической безопасности территории. Опережающий блок формирует информационную основу последующих действий, определяет параметры фонового состояния эколого-геологической системы. Второй блок ориентирован на экологические мишени, систематизирует современные способы и методы минимизации негативных воздействий на комфортность среды обитания.*

***Ключевые слова:** система, направления, эффективность горнопромышленный район, экологическая безопасность, благоприятность, комфортность, среда, обитание.*

Горнопромышленная деятельность представляет собой один из основных видов деятельности человеческого общества. Практически все его современное материальное благополучие основано на полезных ископаемых. Несомненно, что лидирующую роль играют энергетические виды сырья. Однако рудные полезные ископаемые представляют собой основу любой промышленной деятельности. При этом, имеет место жесткое противоречие между необходимостью добычи полезных ископаемых и негативными экологическими последствиями данной деятельности. Данное противоречие имеет экономическую основу, так как в настоящее время современные технологии позволяют практически безвредно осуществлять горнопромышленную деятельность. При этом себестоимость продукции возрастает в разы. В этой связи значительную роль играет создание взвешенной системы эффективных направлений развития горнопромышленных районов для обеспечения их экологической безопасности и благоприятной среды жизнедеятельности.

Нами представлен комплекс природоохранных мероприятий и технологических решений, способных решить основные проблемы обеспечения экологической безопасности горнопромышленных районов (ГПР). Данный комплекс предложен нами для проектной возможности разработки Елань-Елкинского месторождения сульфидных медно-никелиевых руд, как ключевого участка максимального экологического воздействия на компоненты окружающей среды. Высокий уровень экологического воздействия обусловлен, как уровнем заселения и освоения территории, так и токсичностью предполагаемой горнопромышленной деятельности. Он включает блоки опережающих и природоохранных мероприятий, необходимых для эксплуатации горнопромышленных районов, внедрение которых способствует экологической безопасности горнопромышленной деятельности.

Характеристика опережающих мероприятий. На первых стадиях формирования горнопромышленного района необходимо проведения ряда опережающих мероприятий, базовых для последующей оценки влияния техногенной разработки месторождений на экосистему, которые включают:

1) Реализацию программы комплексной эколого-геологической оценки современного состояния окружающей природной среды в исследуемых горнопромышленных районах, включающую исследования особо охраняемых природных территорий.

2) Проведение полного археологического обследования территорий, обусловленное наличием и внесением всех археологических памятников в Государственный земельный кадастр и Единый Государственный реестр объектов культурного наследия Российской Федерации.

3) Проведение детального сейсмического районирования зоны добычи и территории горного отвода. Сейсмическое микрорайонирование позволяет оценить влияние локальных грунтовых, геоморфологических и гидрогеологических особенностей территории, даёт представление о «фоновом» состоянии геологической среды. Работы по сейсмическому районированию помогут при выборе места захоронения минерализованных вод, откачиваемых из шахты, подземного захоронения отходов. Также они являются основой для мониторинга сейсмической обстановки во время эксплуатации элементов ГПР.

4) Перевод значительных земельных площадей из сельскохозяйственных в промышленные, с перемещением гумусового горизонта почвы.

5) Отбор проб руды для последующих исследований на действующих металлургических комбинатах для установления их параметров, необходимых для использования экологически эффективных схем обогащения и дальнейшей переработки рудных концентратов [2].

6) Разработка особой технологии прохождения шахт, учитывающей сложные гидрогеологические особенности территории. На исследуемой территории в осадочном

чехле содержится 6 водных горизонтов, в том числе основной источник водоснабжения - воды плиоценового горизонта. Также непосредственно над рудными телами залегают рассолы, содержащие 70 г/л различных элементов, в основном *I* и *Br*. Необходимо создание современных водоотводящих систем утилизации технических вод, связанных с прохождением шахт (замораживание), добычей руд, производством концентратов, разработка специальных мероприятий по отводу рассолов, извлечению *I* и *Br*, возможности бальнеологического их использования.

7) Вскрытие месторождения по всей глубине разведанных запасов двумя стволами: скиповым и клетьевым. По обводнённой толще осадочных пород проходка стволов должна осуществляться с замораживанием. Осушение месторождения следует производить без сработки запасов кондиционных подземных вод осадочного чехла. Для выполнения данной технологии в кровле рудного тела должен быть создан предохранительный рудный целик мощностью примерно 50 м, он будет защищать рудник от проникновения подземных вод осадочной толщи.

8) Обоснование места под специальные экранирующие площадки и их оборудование для складирования отходов – хвостов обогащения и дальнейшего применения в качестве закладочного материала для выработанных подземных пространств. Чаша самого хвостохранилища должна иметь минимальную площадь и быть экранирована для полного исключения фильтрационных потерь в грунтовые воды. Хвосты должны быть хорошо увлажнены для исключения процессов пыления. Необходимо полное соответствие объёмов закладной смеси (хвосты+цемент+вода) объёму отработанного шахтного пространства.

9) Многостороннее и наиболее полное социальное обеспечение на всех этапах осуществления проекта освоения Еланского месторождения по специальной разработанной программе, разработанной на основе единого теоретико-методологического, концептуального и управленческого подходов; преодоление фрагментарности в работе, усиление комплексности и всестороннего учета совокупности интересов государства, инвесторов и общества.

10) Формирование грамотного информационного сопровождения проекта с целью формирования благоприятного общественного мнения. Широкая популяризация системы его экологического сопровождения, пояснения особенностей применяемых экологических технологий разработки, складирования отходов. Обогащение руды следует производить на обогатительной фабрике при использовании исключительно флотационного метода обогащения.

Комплекс природоохранных мероприятий горнопромышленных районов по добыче руд цветных металлов

А) Снижение выбросов при добыче сульфидных руд подземным способом.

1) Разработка месторождения полезных ископаемых подземным способом представляет собой добычу полезного ископаемого из недр Земли при проведении системы подземных горных выработок без нарушения дневной поверхности. Рудовмещающий массив должен быть разделён на участки, в пределах которых не смогут развиваться до критической величины техногенные и природные напряжения. Природную зону обитания, со всеми сохранёнными условиями функционирования флоры, фауны и самого человека, необходимо отделить от зоны подземных горных работ.

2) Уменьшение объёмов, оставляемых на постоянное хранение пустых пород и/или хвостов обогащения, должно достигаться использованием их для заполнения подземных выработанных пространств рудника и поверхностных воронок обрушения путём применения сухой закладки, гидравлических закладочных смесей, таких как: сгущенная пульпа, пастообразный материал, с твердеющими (или без) добавками (например, цемент, зола и доменный шлак).

Б) Снижение негативного воздействия на водные ресурсы

1) Разработка водохозяйственного баланса горнодобывающего предприятия для управления потоками вод, водопотребления, водоотведения, в том числе и для:

- контроля за притоками шахтных вод;
- вероятного изменения режима водопотребления вместе с балансом;
- препятствия загрязнения и истощения подземных и поверхностных вод;
- рационализации водопользования при минимизации эксплуатации питьевых вод;
- возможности рециркуляции, очистки и повторного использования отработанной воды;
- учета водохозяйственной обстановки с целью установления уязвимых водных объектов и зависимости населения от водных ресурсов.

2) Использование рациональных схем осушения горных выработок, необходимых для минимизации влияния на грунтовые воды, понижения гидравлической нагрузки очистных сооружений при применении отдельно или совместно следующих технических решений:

- совершенствование работы дренажной системы;
- применение защитных сооружений и мер (в частности – противодиффузионные завесы);
- изоляция горных выработок регулированием поверхностного стока и отводом рек;
- препятствие опережающему понижению уровня подземных вод;
- предупреждение загрязнения шахтных вод во время откачки.

3) Экранирование противодиффузионными гидроизоляционными покрытиями дна и ограждающих поверхностей отстойников сточных вод, шламохранилищ, хвостохранилищ и др.

4) Сооружение системы водоотводящих канав по контуру внешних отвалов с учетом рельефа местности, первичное осветление вод и их дальнейшая очистка.

5) Применение отходов добычи и переработки на производстве в качестве рекультивационных средств.

Маркерные вещества и технологические показатели для сбросов в поверхностные воды при использовании подземного способа отработки месторождения продемонстрированы в таблице 1.

Таблица 1 – Маркерные вещества и технологические показатели для сбросов в поверхностные воды при использовании подземного способа отработки месторождения

Наименование вещества/показатели	Единицы Измерения	Технологический показатель ¹
<i>pH</i>	ед. <i>pH</i>	6-9
Взвешенные вещества	Мг/л	< 20
Дополнительно определяются и контролируются показатели по тем веществам, которые как предполагаются могут содержаться в сбросах в концентрациях, превышающих концентрации:		
Кадмий		< 0,05 мг/л
хром(VI)		< 0,1 мг/л
Медь		< 0,3 мг/л
Свинец		< 0,2 мг/л
Железо		< 2 мг/л
Никель		< 0,5 мг/л
Цинк		< 0,5 мг/л
Марганец		< 0,08 мг/л
сульфат-ион		< 1300 мг/л
Алюминий		< 0,85 мг/л
Примечание: ¹ Значения концентраций металлов относятся к их совокупному содержанию		

б) Борьба с самоизливом старых скважин является сложным с точки зрения технологии и финансирования процессом. В скважинах с самоизливом напором выше 1,5 м данный процесс устраняется методом откачки эрлифтом при помощи компрессоров для снижения динамического уровня до устранения процесса самоизливания скважины.

в) Снижение негативного воздействия при обогащении руд цветных металлов.

1) Снижение отрицательного воздействия во время получения селективных концентратов цветных металлов флотационным методом из-за сокращения расходов опасных реагентов флотации (таких как: цианид натрия). Использование новых, менее вредных реагентов, уменьшение потери ценных компонентов в отходах, применение безотходных технологий.

Важным является введение комплексного использования сырья, применение техники с высокой удельной производительностью для процесса флотации. Замкнутый цикл водоснабжения, и очистка стоков является необходимым элементом зеленых технологий в горном деле.

2) Захват выбросов по возможности максимально близко от источника с дальнейшей их очисткой [2].

3) Снижение выбросов при хранении руд и продуктов их переработки при применении комплекса технических решений, представленных в таблице 2.

Таблица 2 – Снижение выбросов при хранении руд и продуктов их переработки путем применения отдельно или совместно следующих технических решений

№ п/п	Метод\оборудование	Применимость
1	2	3
1.	Использование закрытых помещений или бункеров	Применяется для пылящих материалов
2.	Сооружение укрытий над площадками хранения	Применяется для всех видов материалов
3.	Герметичная упаковка	Применяется для хранения пылящих материалов, содержащих растворимые в воде неорганические и органические соединения
4.	Сооружений укрытий над пролетами	Применяется при сушке материала
5.	Разбрызгивание воды	Применяется в местах складирования пылящих материалов
6.	Размещение устройств для улавливания пыли/газов в местах загрузки и перегрузки	Применяется в местах складирования пылящих материалов
7.	Использование для сооружений емкостей строительных материалов, устойчивых к загружаемым материалам	Общеприменим
8.	Применение надежных систем обнаружения утечек и индикации уровня заполнения емкостей с подачей сигналов для предотвращения их переполнения	Общеприменим
9.	Хранение агрессивных материалов в емкостях с двойными стенками или в емкостях, размещенных внутри устойчивого к воздействию агрессивных среды обвалования двойной вместимости	Общеприменим

Окончание таблицы 2

1	2	3
10.	Проектирование площадок для хранения таким образом, чтобы любые утечки из емкостей и систем доставки удерживались внутри обвалования, способного вместить объем жидкости, равный, по крайней мере, объему наибольшей емкости, размещенной внутри обвалования. Площадка для хранения должна быть обвалована и иметь покрытие, не подверженное воздействию хранящегося агрессивного материала	Общеприменим
11.	Сбор и обработка эмиссий, образующихся при хранении, с помощью систем, предназначенных для обращения с химическими веществами, которые подлежат хранению. Вода, использованная для смыва пыли, также должна собираться и очищаться перед сбросом	Общеприменим при хранении газов. При хранении жидкостей любые утечки должны собираться и обрабатываться
12.	Регулярная уборка и, при необходимости, увлажнение площадки хранения	Общеприменим
13.	Хранение материалов там, где это возможно, в одном контуре	Общеприменим

Г) Технологии обращения с отходами обогащения руд [3].

1) Размещение отходов с показателями влажности производится в соответствии с рекомендациями таблицы 3.

Таблица 3 – Особенности складирования отходов

Характеристика отходов обогащения руд	Технология размещения
Текущие хвосты обогащения руд с влажностью до 90 %	– Складирование в хвостохранилище намывного и наливного типа – Складирование в выработанном пространстве карьеров
Обезвоженные хвосты обогащения руд с влажностью 40 – 50 %	– Складирование в хвостохранилище – Складирование в выработанном пространстве карьеров – Складирование в выработанном пространстве рудников
Обезвоженные хвосты обогащения руд с влажностью до 30%	– Складирование в выработанном пространстве карьеров – Использование в качестве закладки выработанного пространства карьера при комбинированной разработке – Использование в качестве компонента закладочной смеси
Сухие хвосты обогащения руд с влажностью 10 – 12 %	– Складирование в отвал на дневной поверхности – Использование в качестве компонента закладочной смеси

2) Складирование отходов на территориях, ранее используемых для размещения породных отвалов, гидроотвалов и т. д., включая рекультивацию, осуществляется путем заполнения выработанного подземного пространства рудников пустыми породами. Для предотвращения вероятного загрязнения грунтовых вод эта технология требует проведения обезвоживания хвостов до состояния пасты. К преимуществам описываемой технологии относятся: отказ от размещения текущих отходов обогащения в хвостохранилищах; уменьшение экологической нагрузки на прилегающие территории; возможности применения оборотной воды. Главным недостатком является высокая стоимость строительства обезвоживающего комплекса, подземного закладочного комплекса (ПЗК) для транспортировки закладочной пастообразной смеси.

Установка узла обезвоживания непосредственно в недрах является альтернативным вариантом утилизации обводненных тонкодисперсных отходов обогащения в шахте. Данная технология - инновационное направление, позволяющее: перемещать пульпу по горизонтальным выработкам на протяжённые расстояния; хранить токсичные отходы обогащения непосредственно в недрах; освободить площади земель, используемые для размещения отходов обогащения; заполнить объемы выработанного подземного пространства; изготавливать закладочные смеси из хвостов обогащения поблизости от закладываемых камер. Обязательным условием реализации такой технологии является увеличение мощности насосов для оборотного водоснабжения и откачки воды на фабрику.

В пределах современных горнопромышленных комплексов России достаточно медленно внедряют современные наработки в технологический процесс складирования отходов добычи и переработки руд. Это можно объяснить тем, что новшества всегда требуют больших капиталовложений, а это главным образом, влияет на себестоимость добываемой руды. При этом и складирование традиционным методом отработано, имеются площади для размещения отходов. Соответственно наблюдается рост масштабов накопления на открытой поверхности техногенных отложений, что значительно снижает комфортность среды обитания, в особенности в пределах плотно заселенных территорий. Для достижения цели снижения объемов складированных отходов важным направлением является использование отходов добычи и хвостов обогащения руд для производства твердеющих закладочных смесей. Финансовые затраты являются сдерживающим фактором настоящей технологии. Удешевление процесса достигается путем использования, более дешевого вяжущего в составе закладочной смеси. Твердеющую закладку, получаемую из отходов добычи, в настоящее время используют на Гайском, Красноуральском и Бурибаевском ГОКах.

Практика работы подземных рудников показывает, что использование твердеющей закладки экономически целесообразно при разработке месторождений сульфидных *Cu-Ni* руд и, обычно, способствует уменьшению капитальных затрат для вскрытия месторождений и связанных с этим эксплуатационных расходов. Высокая металлоемкость закладочных комплексов определяет их стационарное положение и лимитирует область использования систем с твердеющей закладкой. При этом постоянное перемещение очистных работ приводит к увеличению длины транспортирования твердеющей смеси. Указанных недостатков не имеет горнотехническая система приготовления закладочной смеси в подземных условиях, использующая отходы проходки горных выработок и радиометрическую сепарации руд для инертного заполнителя.

Д. Экологический мониторинг.

Под экологическим мониторингом понимается система регулярных наблюдений природных сред, выполняемых по определенной программе, которые позволяют выделить изменения в их состоянии, происходящие, в том числе, под влиянием антропогенной деятельности.

Задачами экологического мониторинга являются:

- осуществление наблюдений за техногенным воздействием на компоненты природной среды (атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, почвы, растительность, природные и техногенные геофизические поля) при строительстве объекта, его эксплуатации и в ликвидационный период;
- анализ и обработка данных, полученных в процессе мониторинга;
- оценка изменений состояния компонентов природной среды в результате техногенных воздействий;
- прогноз развития техногенной трансформации компонентов окружающей среды.

В законодательных и нормативно-правовых документах цели и задачи различных видов мониторинга сформулированы в достаточно общем виде, применимом к разным по масштабу уровням мониторинга (федеральному, территориальному, локальному). При организации и проведении локального мониторинга определяются приоритетные загрязнители на основе изучения технологии создаваемого производства. Расположение пунктов наблюдения сети опробования определяется содержанием решаемых задач, особенностями природной обстановки, контролируемыми путями миграции, аккумуляции загрязнений.

Разработка программы по организации экологического мониторинга в период строительства и эксплуатации объектов горнодобывающего и перерабатывающего комплекса основывается на следующих принципах:

- экологические наблюдения должны охватывать основные природные среды: воздушный бассейн, водную среду, недра, почвы, рельеф местности, ландшафт, растительность, биологические ресурсы, природные и техногенные геофизические поля;
- полученная информация должна быть достоверной и адекватно отражать происходящие изменения, что достигается на организационном и практическом уровнях проведения работ;
- должен соблюдаться принцип достаточности мониторинга. Данный принцип обеспечивается как объёмом проводимых исследований (количественный аспект), так и правильностью выбора пунктов, маршрутов и точек наблюдений (качественный аспект);
- формирование корректирующих направлений деятельности для последующей разработки природоохранных мероприятий.

Е) Рекультивация земель

Рекультивация представляет собой сложный многоуровневый процесс, основной целью которого является восстановление комфортности обитания территорий, изъятых из оборота для добычи и переработки полезного ископаемого. Она включает:

1) Ведение текущей рекультивации нарушенных земель при самой эксплуатации горнодобывающего предприятия для сокращения отрицательного влияния на природную среду и возврат в оборот земель.

2) Воссоздание естественного рельефа территории проведения горных работ при рекультивации повреждённых земель с восстановлением стабильных биогеоценозов.

3) Применение отходов добычи руды с целью рекультивации нарушенных земель, в том числе:

- вскрышных и вмещающих горных пород;
- хвостов добычи;
- других отходов относящихся к IV и V классов опасности.

4) Создание благоприятного корнеобитаемого слоя почв на территории рекультивации при обязательном учёте физико-химических и агротехнических свойств почв.

5) Выполнение фитомелиоративных и агротехнических процедур в ходе биорекультивации, включающих:

- посев семян аборигенной флоры с целью создания естественного многовидового сообщества;

– удобрение почвы, способствующего ускорению восстановительного процесса плодородия.

б) Снижение отрицательного влияния на ландшафт, почвы и биоразнообразия должно происходить путем:

- уменьшения эмиссий в окружающую среду и ресурсосбережения;
- сокращения площадей нарушенных земель;
- воссоздания рельефа местности, где проводились горные работы;
- сохранения малых водотоков территории горнодобывающей деятельности, путём переноса их русел за пределы участка горных работ, искусственного русла водного объекта, создания и укрепление берегов, контроля за русловыми и береговыми деформациями;

7) Организации водоохранной зоны, создании благоприятных условий для растительности и животного мира:

- сохранение почв благодаря селективному складированию, размещение и дальнейшая эксплуатация гумусового горизонта почвы;
- препятствие загрязнению почв благодаря путем профилактики аварийных проливов реагентов, горюче-смазочных материалов (ГСМ) и других загрязняющих веществ, снижение эмиссий веществ в атмосферу при применении высокоэффективного оборудования очистки выбросов от токсичных компонентов и т. п.;
- высадка районированных для данных условий видов растительности, предупреждение внедрения видов, угрожающих местным экосистемам;
- обеспечение экологических коридоров, соединяющих ненарушенные горными работами участки, которые позволят сохранить видовое и генетическое разнообразие эндемичных популяций и пути миграций живых организмов.

По результатам проведенной систематизации способов и методов обеспечения экологической безопасности функционирования ГПР в условиях жестких экологических ограничений выявлено следующее:

1. Важным элементом деятельности является комплекс опережающих мероприятий, ориентированный на:

- получение полного объема эколого-геологической информации по проектируемому объекту горнопромышленной деятельности и зоны его влияния;
- фиксирование основных экологических мишеней как основу разработки дальнейших природоохранных мероприятий.

2. Блок природоохранных мероприятий на стадии эксплуатации и ликвидации объекта должен основываться на необходимом комплексе инновационных экологических технологий, ориентированных на сохранение выделенных экологических мишеней, сопровождается оперативной информацией по уровню комфортности среды обитания.

Исследование выполнено при поддержке грантов БРФФИ № X20P-284 и РФФИ № 20-55-00010/20 «Закономерности трансформации экологических функций геосфер крупных горнопромышленных регионов».

Список литературы

1. Добыча и обогащение руд цветных металлов. Информационно технический справочник по наилучшим доступным технологиям. ИТС-23-2017.
2. Амосов, П.В. Результаты оценки загрязнения атмосферы при пылении хвостохранилища (на базе трехмерного моделирования) / П.В. Амосов [и др.]. // Известия ВУЗов. Горный журнал. – 2017. – № 6. – С. 87–94.
3. Бударина, В.А. Экологические аспекты горнодобывающей и перерабатывающей деятельности при разработке Еланского месторождения сульфидных медно-никелевых руд Монография / В.А. Бударина [и др.]. – М. : Научная книга, 2022. – 141 с.

DEVELOPMENT OF SYSTEMS OF EFFECTIVE DIRECTIONS FOR THE DEVELOPMENT OF MINING AREAS TO ENSURE THEIR ENVIRONMENTAL SAFETY AND COMFORT OF THE HABITAT

I. I. KOSINOVA¹, V. A. BUDARINA¹, A. I. PAVLOVSKY²,

kosinova777@yandex.ru

¹*FBGEI HE Voronezh State University*

Voronezh, Russia

aipavlovsky@mail.ru

¹*Gomel State University named after F. Skorina,*

Gomel, Belarus

Abstract. Significant environmental impacts of mining complexes on the state of environmental components require the development of systems to ensure the environmental safety of their territories. The purpose of this research was to develop this system for the mining area for the extraction and processing of non-ferrous metal ores. A system consisting of a complex of advanced and environmental blocks for ensuring the environmental safety of the territory is proposed. The leading block forms the information basis of subsequent actions, determines the parameters of the background state of the ecological and geological system. The second block is focused on environmental targets, systematizes modern ways and methods of minimizing negative impacts on the comfort of the habitat.

Key words: system, directions, efficiency of the mining area, environmental safety, favorability, comfort, environment, habitation.

УДК 502.52:504.5:338.45:622(476)

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ДЕПОНИРУЮЩИХ И ТРАНЗИТНЫХ СРЕД В ПРЕДЕЛАХ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

А. И. ПАВЛОВСКИЙ¹, А. Н. ГАЛКИН², И. И. КОСИНОВА³, О. В. ШЕРШНЕВ¹,
С. В. АНДРУШКО¹, И. А. КРАСОВСКАЯ², В. Л. МОЛЯРЕНКО¹

aipavlovsky@mail.ru

¹*Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины,*

г. Гомель, Беларусь,

galkin-alexandr@yandex.ru

²*Витебский государственный университет имени П. М. Машерова,*

г. Витебск, Беларусь,

kosinova777@yandex.ru

³*ФБГОУ ВО Воронежский государственный университет,*

г. Воронеж, Россия

Аннотация. Рассмотрены некоторые пространственные закономерности загрязнения депонирующих (почвы, поверхностные грунты, донные отложения) и транзитных сред (водная и воздушная среды) в пределах одного из основных горнопромышленных производств Республики Беларусь – ОАО «Гомельский химический завод» и зоны

его влияния. Установлены закономерности распределения основных загрязняющих веществ в различных средах, наибольшие концентрации компонентов-загрязнителей, а также характер изменения концентраций.

Ключевые слова: экологические функции, геологическая среда, горнопромышленное производство, депонирующие среды, транзитные среды, экологическая геология.

При изучении трансформации экологических функций геологической среды в районах добычи и переработки полезных ископаемых, анализе пространственных закономерностей загрязнения, важным является анализ состояния депонирующих и транзитных сред территории. К депонирующим средам относят почвы, поверхностные грунты, донные отложения, поверхностные и подземные воды и т.д. К транзитным – в основном водную и воздушную среду. Механизмы транзита и накопления загрязняющих веществ отличаются значительным своеобразием и во многих случаях недостаточно изучены.

Для каждого из них характерна своя миграционная способность, транспортировка и накопление, переход в связанное состояние. В районах добычи и переработки полезных ископаемых формируются техногенные формы рельефа (карьеры, отвалы, пруды-отстойники и др.), которые коренным образом изменяют сложившуюся пространственно-временную структуру перераспределения вещественно-энергетических потоков, не учитывают геохимические барьеры, в результате образуются своеобразные поля распространения и накопления загрязняющих веществ.

Большие объемы отходов производства, на территории Беларуси, связаны с переработкой минерального сырья и, в частности крупного отвала фосфогипса Гомельского химического завода. Длительные мониторинговые исследования на территории этого предприятия позволили выполнить оценку состояния депонирующих и транзитных сред.

Оценка загрязнения атмосферного воздуха на исследуемой территории выполнена на основании данных Национальной системы мониторинга окружающей среды. Основными загрязняющими атмосферный воздух веществами, поступающими с выбросами Гомельского химического завода, являются: диоксид серы, серная кислота, аммиак и гидрофторид.

Динамика выбросов в атмосферу диоксида серы и серной кислоты показывает периодическое возрастание и снижение их концентраций, которые в целом не превышают установленные на выбросы нормативы. Однако для диоксида серы за период 2017 – 2020 гг. прослеживается тенденция возрастания концентраций. Для выбросов серной кислоты за период 2011 – 2020 гг. нет явно выраженной тенденции возрастания или снижения концентраций, которые находятся примерно на одном и том же уровне (рисунок 1).

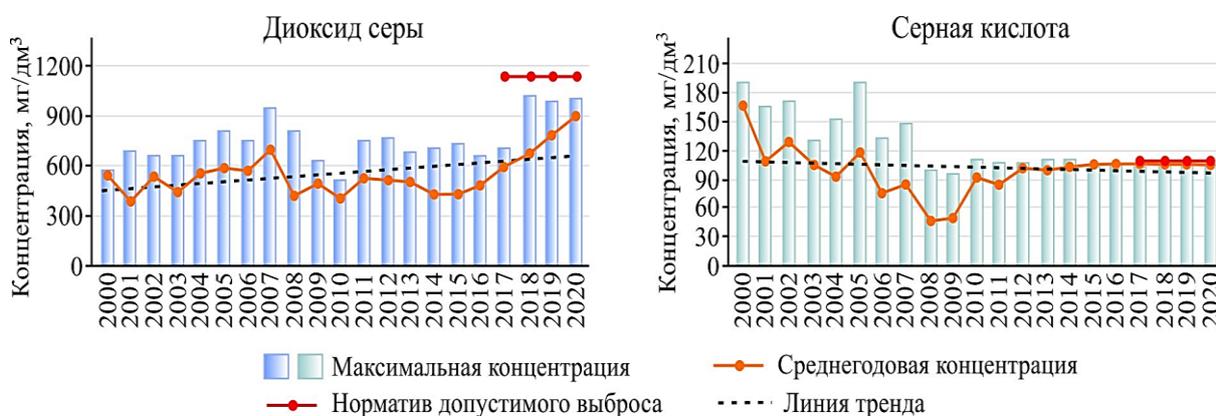


Рисунок 1 – Концентрации контролируемых загрязняющих веществ в атмосферных выбросах ОАО «Гомельский химический завод».

Составлен по данным [1]

На основании выполненных исследований, имеющихся в опубликованных и фоновых источниках данных, проведен анализ природно-техногенной геохимической ситуации по некоторым тяжелым металлам (*Cd*, *Zn*, *Pb*, *Cr*), сформировавшейся в зоне влияния Гомельского химического завода (таблица 1) [4, 5, 6, 7].

Для г. Гомеля и территории Гомельского химического завода содержание тяжелых металлов также является допустимым за исключением отдельных превышений для *Zn* и повышенных концентраций для *Cd* и *Pb*. Концентрации *Cd* и *Cr* для почв близки к фоновым.

Таблица 1 – Среднее содержание анализируемых тяжелых металлов в почвах на сети фонового мониторинга, г. Гомеле, зоне влияния ГХЗ и фосфогипсе, мг/кг [1, 2]

Местоположение	<i>Cd</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>	<i>Cr</i>
Фоновые значения (РБ)	0,13	22,0	6,8	4,3
Гомельская область	0,1	20,6	6,6	4,5
г. Гомель	0,04–0,40	10,1–81,6	1,1–29,6	1,9–4,9
	0,16	46,9	12,1	3,4
ГХЗ	0,05–0,16	24,8–212,0	5,0–19,4	2,8–8,1
	0,09	95,5	13,0	4,6
Фосфогипс	0,04	84,4	8,1	12,8
ПДК (ОДК)	0,5	55,0	32	100

Примечание: в числителе – минимальное и максимальное значения; в знаменателе – среднее значение.

Зона влияния Гомельского химического завода находится в пределах водосборов рр. Сож, Уза и Рандовка. Анализ состояния вод рр. Сож и Уза показывает, что для этих водных объектов приоритетными загрязняющими веществами являются соединения азота, фосфат-ион, железо и медь. Повышенные концентрации (0,8 – 0,9 ПДК) характерны для цинка (таблица 2).

Таблица 2 – Состояние рр. Сож и Уза по гидрохимическим показателям за 2018 г. составлено по данным [3, 4]

Наименование ингредиента и показателя	ПДК	р. Сож, г. Гомель, 0,6 км выше города	р. Сож, г. Гомель, 13,7 км ниже города	р. Уза, г. Гомель, 5,0 км ЮЗ города	р. Уза, г. Гомель, 10,0 км ЮЗ города
		Значения ингредиента или показателя			
Взвешенные вещества, мг/дм ³	–	6,8	6,9	7,2	8,3
Растворенный кислород, мгО ₂ /дм ³	≥6 Летом	8,8	8,9	8,1	7,9
ХПК _{Cr} , мгО ₂ /дм ³	30,0	23,5	24,1	26,3	31,0
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	3,0	2,1	2,2	2,3	2,7
Аммоний-ион, мгN/дм ³	0,39	0,25	0,26	0,37	0,45
Нитрит-ион, мгN/дм ³	0,024	0,019	0,019	0,022	0,025
Фосфат-ион, мгP/дм ³	0,066	0,071	0,072	0,075	0,083
Железо, мг/дм ³	0,1	0,381	0,391	0,478	0,494
Медь, мг/дм ³	0,001	0,0009	0,0011	0,0015	0,0017
Цинк, мг/дм ³	0,01	0,006	0,006	0,008	0,009
Никель, мг/дм ³	0,01	0,003	0,003	0,003	0,003
Нефтепродукты, мг/дм ³	0,05	0,015	0,016	0,026	0,026
СПАВ, мг/дм ³	0,005	0,01	0,01	0,02	0,02
Гидрохимический статус		отличный	отличный	Хороший	хороший

В целом гидрохимический статус р. Сож оценивался как отличный, а р. Уза – хороший. Река Рандовка имеет протяженность 21 км, протекает в окрестностях г. Гомеля на западе и северо-западе и впадает в р. Уза. Источниками воздействия на воды р. Рандовка являются мелиорированные участки, занятые сельхозугодьями, сельские населенные пункты, городская ТЭЦ-2 и отвал фосфогипса. Возможность поступления загрязняющих веществ в р. Рандовка может быть обусловлена стоками с отвала фосфогипса, которые, образуют временные водотоки после выпадения дождей и во время снеготаяния. При смешении стоков с речными водами возможен процесс их разбавления и изменение геохимической обстановки в речной воде.

На основе данных локального мониторинга проанализирована пространственная и временная динамика распределения в поверхностных водных объектах контролируемых загрязняющих компонентов (SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NH_4^+) и показателей (минерализация). В пределах санитарно-защитной зоны наблюдается мозаичность распределения гидрохимических показателей. Кислотно-щелочной баланс поверхностных вод территорий, прилегающих к отвалам фосфогипса, характеризуется кислой средой и возрастанием восстановительных свойств по мере удаления.

На границе санитарно-защитной зоне в воде р. Рандовка наблюдается определенное отклонение от установленных нормативов концентраций аммоний-иона, фосфат-иона, реже сульфат-иона, что, по-видимому, может быть влиянием отвалов фосфогипса (рисунок 2). При этом весьма вероятно влияние на загрязнение воды в реке прочих техногенных объектов: автомагистрали, сельскохозяйственных полей и животноводческих комплексов, ТЭЦ.

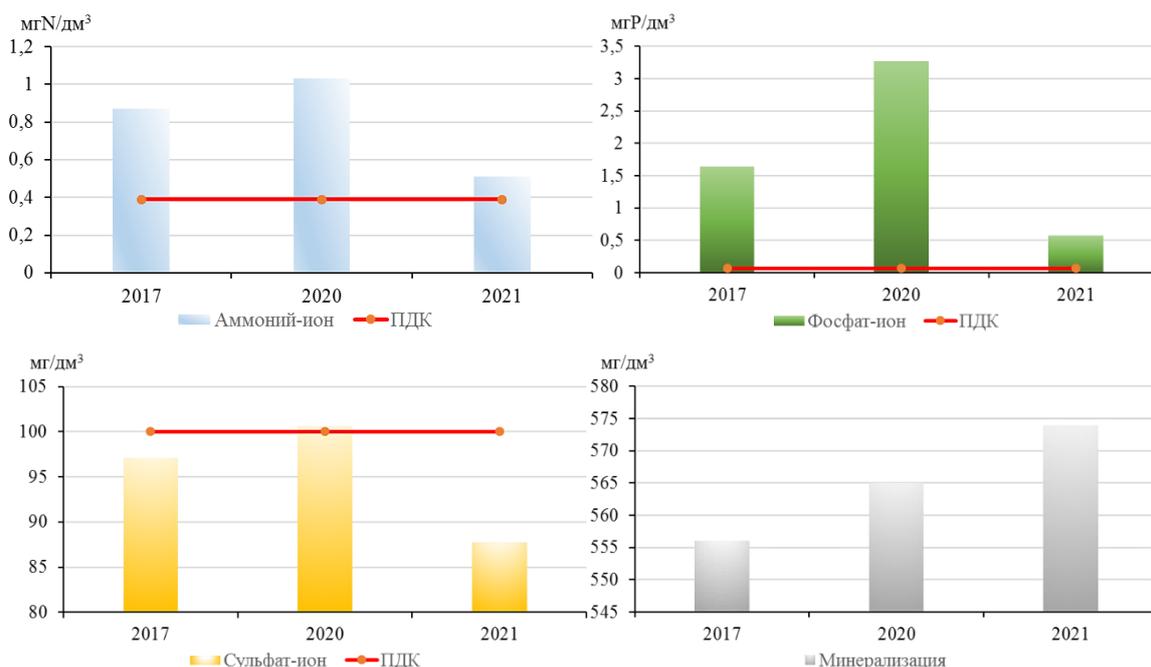


Рисунок 2 – Распределение контролируемых загрязняющих веществ в р. Рандовка в зоне влияния Гомельского химического завода

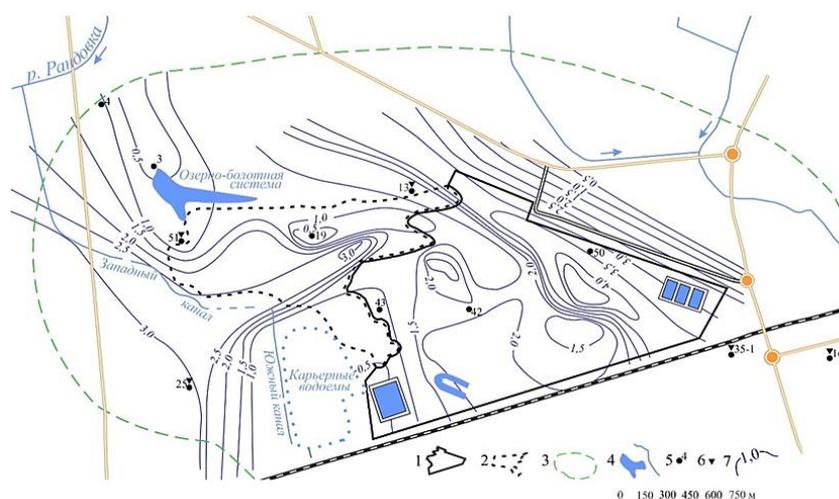
Динамика распределения характеризуемых загрязняющих компонентов в р. Рандовка показывает периодичность возрастания и снижения их концентраций, которые для аммоний-иона и фосфат-иона характеризуются превышением ПДК.

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 Гомельского химического завода размещены отходы производства на площади более 90 га. Они представлены отвалом фосфогипса, который является одним из главных источников формирования загрязнения подземных вод.

Геологическое и гидрогеологическое строение территории были изучены по данным инженерно-геологических изысканий, режимной и локальной сети мониторинга подземных вод в зоне влияния Гомельского химического завода за период 2017 – 2020 гг. Анализ распределения загрязняющих веществ в зоне аэрации на прилегающих к отвалу фосфогипса территориях был проведен посредством изучения водных вытяжек на пяти ключевых участках, расположенных 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). В качестве анализируемых показателей приняты основные компоненты-загрязнители подземной гидросферы в зоне влияния Гомельского химического завода (сульфат-ион, фосфат-ион, аммоний-ион).

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. в пределах санитарно-защитной зоны Гомельского химического завода изменяется от 0 до нескольких метров. Как она правило не превышает 3 – 5 м, а на большей части составляет менее 1 м (рисунок 3). При этом на отдельных площадях, например, в южной части промышленной площадки уровень грунтовых вод находится выше поверхности земли, и зона аэрации отсутствует.



- 1 – площадка ОАО «Гомельский химический завод»,
 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.

Рисунок 3 – Мощность зоны аэрации в пределах санитарно-защитной зоны Гомельского химического завода (по данным локальной и режимной сети мониторинга подземных вод)

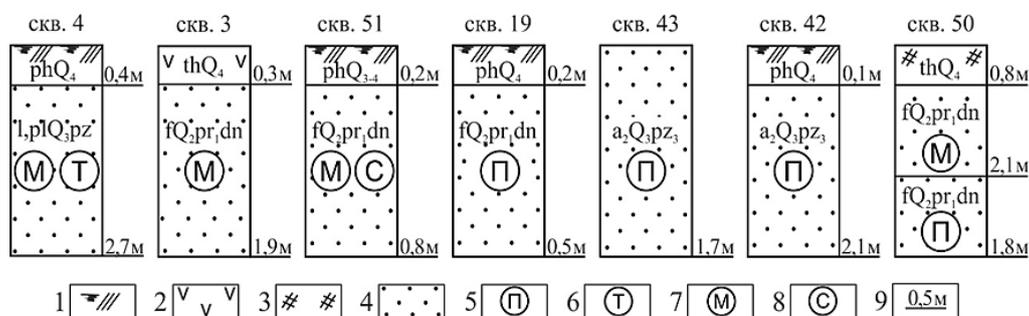
Изменение мощности зоны аэрации связано, прежде всего с сезонными факторами и по распространению зоны аэрации выделены три типа участков.

Первый тип занимает наибольшую площадь и характеризуется 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, периодически затопляемые 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 верхлеплейстоцен-голоценового времени (пески мелкие), аллювиальные отложения пойм рр. Мильча и Рандовка (пески мелкие и пылеватые), аллювиальные старичные отложения (пески мелкие гумуссированные, ил), болотные отложения (зоторфованный грунт с сильно разложившейся органикой), техногенные насыпные и намывные отложения (фосфогипс, строительные отходы, насыпной песчаный грунт, песчано-глинистый грунт строительных планировок и обратных засыпок). 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 (рисунок 4).

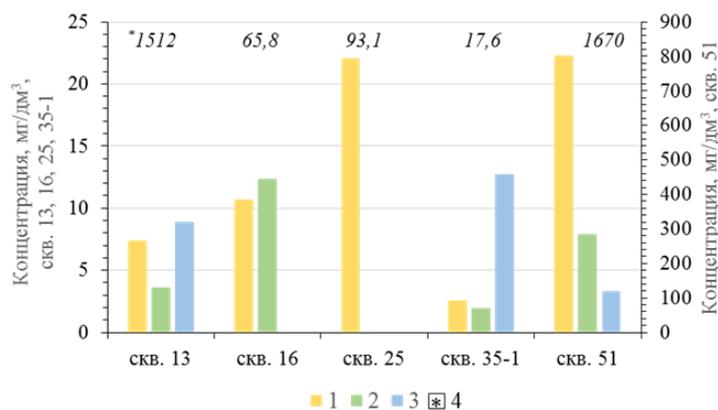


1 – почвенно-растительный слой, 2 – торф, 3 – насыпной грунт,
4 – песок; зерновой состав песка: 5 – пылеватый, 6 – тонкий, 7 – мелкий, 8 – средний;
9 – мощность отложений

*Примечание – Положение скважин см. на рис. 3.

Рисунок 4 – Типовые геолого-литологические колонки зоны аэрации территории исследования

Распределение загрязняющих компонентов в зоне аэрации. Концентрации сульфат-иона в зоне аэрации во всех исследуемых точках существенно ниже по сравнению с грунтовыми водами (рисунок 5). 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.

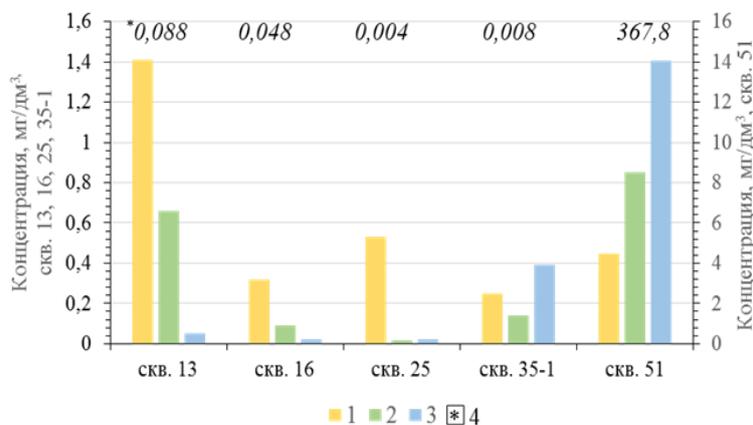


подзоны: 1 – почвенная, 2 – вадозная, 3 – капиллярная;
4 – концентрация компонента в грунтовых водах

Рисунок 5 – Распределение концентраций сульфат-иона в зоне аэрации на территории исследования

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

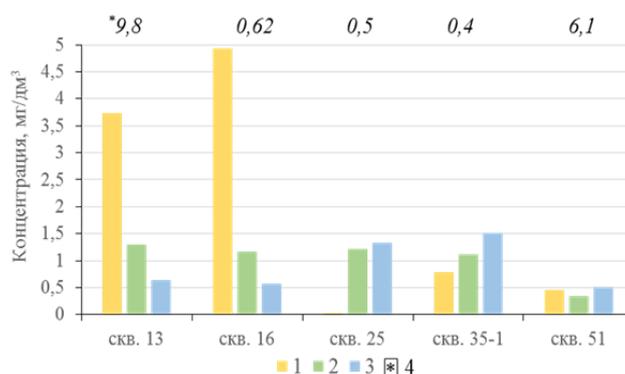
Концентрации фосфат-иона (в пересчете на P) в зоне аэрации во всех исследуемых точках, за исключением скв. 51 значительно выше, чем в грунтовых водах (рисунок. 6).



подзоны: 1 – почвенная, 2 – вадозная, 3 – капиллярная;
4 – концентрация компонента в грунтовых водах

Рисунок 6 – Распределение концентраций фосфат-иона (в пересчете на P) в зоне аэрации на территории исследования

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 (рисунок 7).



подзоны: 1 – почвенная, 2 – вадозная, 3 – капиллярная;
4 – концентрация компонента в грунтовых водах

Рисунок 7 – Распределение концентраций аммоний-иона (в пересчете на N) в зоне аэрации на территории исследования

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).

Выводы:

Основными загрязняющими атмосферный воздух веществами, являются: диоксид серы, серная кислота, аммиак и гидрофторид. Динамика выбросов в атмосферу имеет колебательный характер, а концентрации, в целом не превышают установленные на выбросы нормативы.

Содержание тяжелых металлов является допустимым за исключением отдельных превышений для *Zn* и повышенных концентраций для *Cd* и *Pb*. Концентрации *Cd* и *Cr* для почв близки к фоновым.

В целом гидрохимический статус речной сети (рр. Зож, Уза, Рандовка) и поверхностных водоемов находится в пределах нормы. Поступления загрязняющих веществ в р. Рандовка может быть обусловлена стоками с отвала фосфогипса, после выпадения дождей и во время снеготаяния. При смешении стоков с речными водами возможен процесс их разбавления и изменение геохимической обстановки в речной воде. В пределах санитарно-защитной зоны наблюдается мозаичность распределения гидрохимических показателей.

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 Гомельского химического завода 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.

Исследование выполнено при поддержке грантов БРФФИ № X20P-284 и РФФИ № 20-55-00010/20 «Закономерности трансформации экологических функций геосфер крупных горнопромышленных регионов».

Список литературы

1. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений, 2018 год. Минск, Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды. – 2019. – 476 с.
2. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений, 2020 год. – Минск, Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды. – 2021. – 591 с.
3. Государственный водный кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество вод (за 2017 год). – Минск, 2018. – 223 с.
4. Государственный водный кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество вод (за 2018 г.). – Минск, 2019. – 222 с.
5. Национальная система мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь: результаты наблюдений, 2016 год. – Минск, 2017.
6. Хомич, В.С. Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси / В.С. Хомич [и др.]. – Минск : РУП «Минсктипроект», 2004. – 260 с.
7. Петухова, Н.Н. Геохимия почв Белорусской ССР / Н.Н. Петухова. – Минск : Наука и техника, 1987. – 229 с.
8. Петухова, Н.Н. Оценка загрязнения почв Республики Беларусь тяжелыми металлами / Н.И. Петухова, В.М. Феденя, В.И. Матвеева // Природные ресурсы. – 1996. – № 1. – С. 20–23.

ASSESSMENT OF THE CONDITION OF DEPOSITING AND TRANSIT MEDIA WITHIN MINING AND INDUSTRIAL PRODUCTION OF THE REPUBLIC OF BELARUS

A. I. PAVLOVSKY¹, A. N. GALKIN², I. I. KOSINOVA³, O. V. SHERSHNEV¹,
S. V. ANDRUSHKO¹, I. A. KRASOVSKAYA², V. L. MOLYARENKO¹

aipavlovsky@mail.ru

¹*Gomel State University named after F. Skorina,
Gomel, Belarus,*

galkin-alexandr@yandex.ru

²*Vitebsk Masharov State University,
Vitebsk, Belarus,*

kosinova777@yandex.ru

³*FBGEI HE Voronezh State University*

Abstract. *Some spatial regularities of pollution of depositing (soils, surface soils, bottom sediments) and transit media (water and air) within one of the main mining and industrial production of the Republic of Belarus - "Gomel Chemical Plant" and its zone of influence are*

considered. The patterns of distribution of the main pollutants in various media, the highest concentrations of pollutant components, as well as the nature of changes in concentrations have been established.

Key words: ecological functions, geological environment, mining industry, depositing environments, transit environments, ecological geology.

УДК 550.34(476)

СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ АКТИВНОЙ ЗОНЫ СЕВЕРО-ПРИПЯТСКОГО СУПЕРРЕГИОНАЛЬНОГО РАЗЛОМА

Г. А. АРОНОВ¹, И. И. КОСИНОВА²

¹aronovg@tut.by

¹Центр геофизического мониторинга Национальной академии наук Беларуси,
г. Минск, Беларусь,

kosinova777@yandex.ru

²ФБГОУ ВО Воронежский государственный университет,
г. Воронеж, Россия

Аннотация. Основным результатом работы стало выявление общей картины современного сейсмотектонического режима активной зоны Северо-Припятского суперрегионального разлома. Выполнено построение площадного и пространственно-временного распределения эпицентров землетрясений вдоль разлома. Определены координаты сейсмоактивной зоны разлома, которая находится в пределах по северной широте $52,88^\circ - 53,17^\circ$ и восточной долготы $26,93^\circ - 28,40^\circ$. Установлено, что распределение землетрясений вдоль разлома происходило неоднородно в пространстве и во времени. Самым активным по количеству землетрясений (25) был период с 1999 по 2004 гг., а количество выделившейся суммарной сейсмической энергии ($\Sigma E = 5,3658 \cdot 10^9$ Дж) произошло в 1983 – 1987 гг. Самое сильное землетрясение зафиксировано 17.10.1985 г. в краевой восточной части разлома с магнитудой $M=3,1$.

Ключевые слова: землетрясение, эпицентр, магнитуда, разлом, тектоника, геодинамика, сейсмотектоническая активность.

Введение. Припятский прогиб принадлежит Русской плите Восточно-Европейской древней платформы. Прогиб представляет собой субширотно вытянутый грабен, расположенный между периклиналями Белорусской и Воронежской антеклиз и Жлобинской седловины на севере и Украинским щитом на юге. Максимальная длина прогиба около 280 км, ширина до 130 км. От Украинского щита прогиб отделен Южно-Припятским краевым разломом, представляющим собой зону сбросов общей амплитудой по поверхности фундамента до 2 – 4 км. Северной границей является Северо-Припятский краевой разлом, состоящий из серии кулисообразно подставляющих друг друга разрывов типа сбросов с суммарной амплитудой до 3,5 км [3, 2].

Результаты и их обсуждение. Северо-Припятский разлом является наиболее протяженным сложнопостроенным, отличающийся максимальными амплитудами (по поверхности фундамента до 4,5 км) краевым суперрегиональным разломом, проникающим в чехол. Он представляет собой нормальный листрический сброс мантийного заложения. Краевой разлом представляет собой зону, состоящую из одной, двух, реже более систем ступеней, ограниченных сбросами и плоскостями сбрасывателей, наклоненных под углами от 80° до 60° к прогибу. Амплитуды разлома изменяются от 2,0 км на западе

до 4,5 км на востоке. Стадия заложения разлома относится к начальному этапу развития Припятского рифта, воронежскому времени франского века, главная стадия – к лебедянскому времени фаменского века, активные движения по нему прекратились в карбонетриасе. Только в восточной части Северо-Припятского разлома был установлен взброс, происшедший в конце триасового, юрском и частично в меловых периодах [1, 3, 4, 5, 6].

За анализируемый период с 1983 г. по 2021 г. произошло 100 землетрясений, эпицентры которых находятся в сейсмоактивной зоне действия Северо-Припятского суперрегионального разлома. Диапазон энергетических классов этих землетрясений составляет $K=5,1-9,5$, магнитудный уровень равен $M=0,6-3,1$. На рисунке 1 показано площадное распределение этих землетрясений вдоль Северо-Припятского суперрегионального разлома. В результате выполненного построения, были получены координаты сейсмоактивной зоны разлома, которая находится в пределах по северной широте $52,882^{\circ}-53,169^{\circ}$ и восточной долготы $26,930^{\circ}-28,400^{\circ}$.

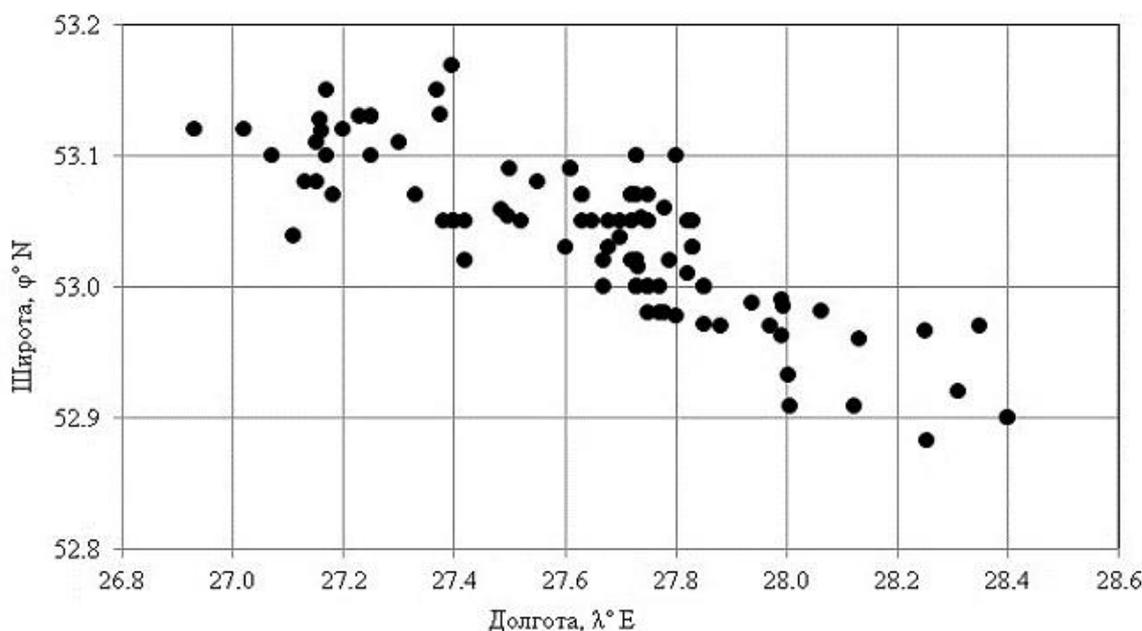


Рисунок 1 – Карта эпицентров землетрясений сейсмоактивной зоны Северо-Припятского суперрегионального разлома за период 1983 – 2021 гг.

На рисунке 2 показано пространственно-временное распределение эпицентров землетрясений в проекции на долготу за период 1983 – 2021 гг. Распределение землетрясений вдоль Северо-Припятского суперрегионального разлома происходило неоднородно в пространстве и во времени, проанализируем протекание сейсмического процесса в этом разломе.

Выделение этапов проявления сейсмичности проводилось на основе активности зоны и площадного расположения эпицентров землетрясений.

На I этапе (1983 – 1987 гг.) произошло 17 землетрясений со средним значением 3,400 землетрясения в год. Суммарный объем выделившейся сейсмической энергии составляет $\Sigma E=5,3658 \cdot 10^9$ Дж со средним значением $(1,0732 \cdot 10^9$ Дж). На протяжении 5 лет землетрясения в основном флуктуируют в центральной части активной части разлома, однако активность проявлялась и в крайних частях. Три землетрясения наблюдались на западе (20.11.1984 г. с $K=8,5$, $M=2,5$, $E=0,3162 \cdot 10^9$ Дж; 06.02.1985 г. с $K=6,8$, $M=1,6$, $E=0,0063 \cdot 10^9$ Дж; 12.05.1986 г. с $K=8,5$, $M=2,5$, $E=0,3162 \cdot 10^9$ Дж) и одно сильное землетрясение произошло на востоке (17.10.1985 г. с $K=9,5$, $M=3,1$, $E=3,1623 \cdot 10^9$ Дж).

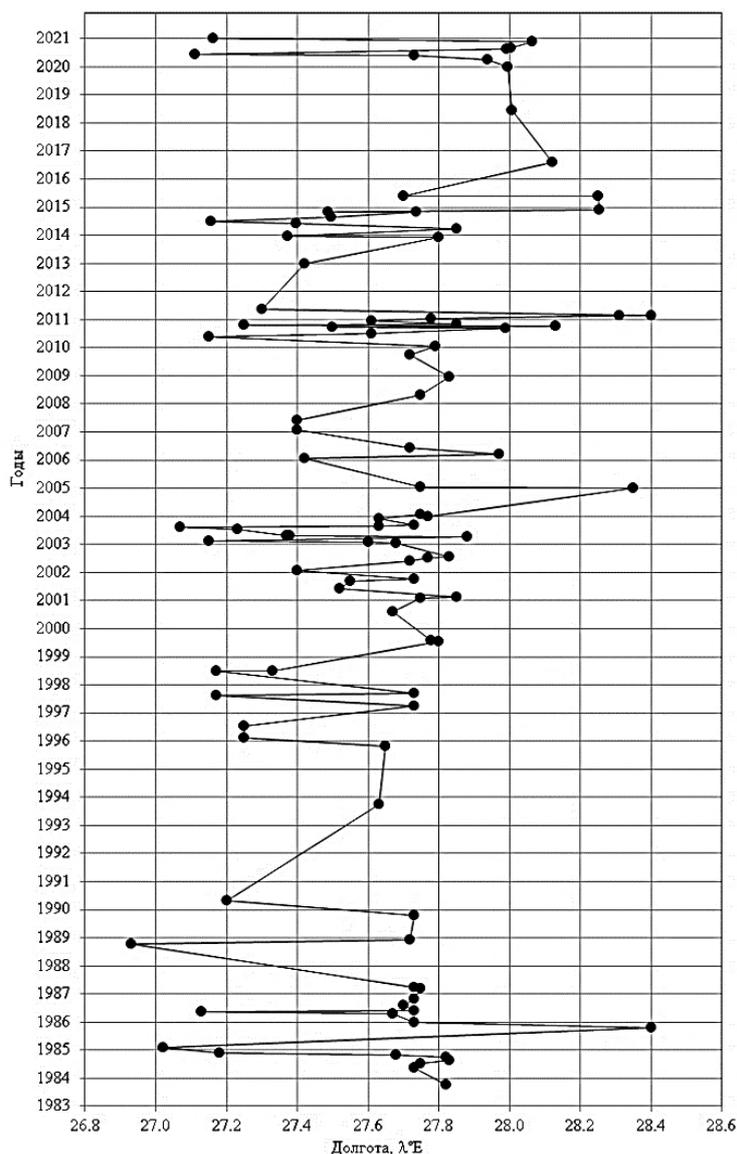


Рисунок 2 – Пространственно-временная развертка эпицентров землетрясений в зоне Северо-Припятского суперрегионального разлома за период 1983 – 2021 гг.

На II этапе (1988 – 1998 гг.) произошло 13 землетрясений со средним значением 1,625 землетрясений в год, что меньше (в 2,092) чем на предыдущем этапе. Суммарный объем выделившейся сейсмической энергии составляет $\Sigma E = 0,8978 \cdot 10^9$ Дж со средним значением ($0,1122 \cdot 10^9$ Дж), которое меньше (на $0,9610 \cdot 10^9$ Дж) чем на I этапе. Этот 11 летний период характеризуется тем, что землетрясения в основном происходят в западной части разлома и несколько землетрясений отмечены в центральной. Одно землетрясение наблюдалось в краевой западной части активной зоны разлома (17.10.1988 г. с $K=6,8$, $M=1,6$, $E=0,0063 \cdot 10^9$ Дж).

На III этапе (1999 – 2004 гг.) произошло 25 землетрясений со средним значением 4,167 землетрясений в год, что больше (в 2,564) чем на предыдущем этапе. Суммарный объем выделившейся сейсмической энергии составляет $\Sigma E = 1,1660 \cdot 10^9$ Дж со средним значением ($0,1943 \cdot 10^9$ Дж), которое больше (на $0,0821 \cdot 10^9$ Дж) чем на II этапе. Анализируя распределение событий на этом 5 летнем этапе можно заметить, что произошло смещение сейсмической активизации в центральную часть разлома и лишь в конце этапа наблюдается ее смещение на запад. Одно землетрясение наблюдалось в краевой западной части активной зоны разлома (04.09.2003 г. с $K=6,8$, $M=1,6$, $E=0,0063 \cdot 10^9$ Дж).

На IV этапе (2005 – 2009 гг.) произошло 10 землетрясений со средним значением 2,000 землетрясения в год, что меньше (в 2,084) чем на предыдущем этапе. Суммарный объем выделившейся сейсмической энергии составляет $\Sigma E=0,2658 \cdot 10^9$ Дж со средним значением ($0,0532 \cdot 10^9$ Дж), которое меньше (на $0,1411 \cdot 10^9$ Дж) чем на III этапе. Этот 5 летний этап характеризуется тем, что землетрясения флуктуируют в западных и восточных частях активной зоны разлома с большим разлетом, чем на предыдущем этапе. Одно землетрясение в начале периода наблюдалось в краевой восточной части разлома (25.01.2005 г. с $K=7,0$, $M=1,7$, $E=0,0100 \cdot 10^9$ Дж).

На V этапе (2010 – 2014 гг.) произошло 23 землетрясения со средним значением 5,750 землетрясений в год, что больше (в 2,875) чем на предыдущем этапе. Суммарный объем выделившейся сейсмической энергии составляет $\Sigma E=0,4322 \cdot 10^9$ Дж со средним значением ($0,1081 \cdot 10^9$ Дж), которое больше (на $0,0549 \cdot 10^9$ Дж) чем на IV этапе. На 5 летнем цикле происходило смещение сейсмической активизации с восточной части разлома на западную часть. В краевой восточной части разлома наблюдались землетрясение (22.03.2011 г. с $K=7,3$, $M=2,4$, $E=0,1995 \cdot 10^9$ Дж). В краевой западной части разлома наблюдалось землетрясение (16.06.2010 г. с $K=6,1$, $M=1,2$, $E=0,0013 \cdot 10^9$ Дж).

На VI этапе (2015 – 2019 гг.) произошло 4 землетрясения со средним значением 1,333 землетрясения в год, что меньше (в 4,314) чем на предыдущем этапе. Суммарный объем выделившейся сейсмической энергии составляет $\Sigma E=0,1091 \cdot 10^9$ Дж со средним значением ($0,0364 \cdot 10^9$ Дж), которое меньше (на $0,0717 \cdot 10^9$ Дж) чем на V этапе. Этот 5 летний период характеризуется тем, что землетрясения флуктуируют в восточной части активной части разлома и лишь одно отмечено в центральной. В краевой восточной части разлома произошло землетрясение (17.06.2015 г. с $K=7,2$, $M=1,8$, $E=0,0158 \cdot 10^9$ Дж).

На VII этапе (2020 – 2021 гг.) произошло 8 землетрясений со средним значением 4,000 землетрясения в год, что больше (в 3,001) чем на предыдущем этапе. Суммарный объем выделившейся сейсмической энергии составляет $\Sigma E=0,2535 \cdot 10^9$ Дж со средним значением ($0,1267 \cdot 10^9$ Дж), которое больше (на $0,0903 \cdot 10^9$ Дж) чем на VI этапе. Этот 2 летний период характеризуется тем, что землетрясения флуктуируют как в восточной, так и западной части разлома и лишь одно тяготеет к центральной. В краевой восточной части разлома произошло землетрясение (16.12.2020 г. с $K=7,4$, $M=1,9$, $E=0,0229 \cdot 10^9$ Дж) и в краевой западной (29.01.2021 г. с $K=7,8$, $M=2,1$, $E=0,0692 \cdot 10^9$ Дж).

Выводы. Анализ результатов выполненных исследований позволяет оценить сейсмотектонический потенциал активной зоны Северо-Припятского суперрегионального разлома. Всего за период 1983 – 2021 гг. произошло 100 землетрясений, в среднем (3,030) землетрясения в год. Суммарный объем выделившейся сейсмической энергии составляет $\Sigma E=8,4210 \cdot 10^9$ Дж, со средним значением ($0,2573 \cdot 10^9$ Дж) в год. Диапазон энергетических классов землетрясений составляет $K=5,1-9,5$, с магнитудным уровнем $M=0,6-3,1$. Площадное распределение зафиксированных землетрясений вдоль Северо-Припятского суперрегионального разлома находится в пределах по северной широте $52,882^\circ-53,169^\circ$ и восточной долготы $26,930^\circ-28,400^\circ$. Вся анализируемая зона является сейсмоактивной, землетрясения проявляются как в центральной части разлома, так в его восточной и западной краевых частях. В Северо-Припятском суперрегиональном разломе самым активным по количеству землетрясений (25) был период с 1999 по 2004 гг., а количество выделившейся суммарной сейсмической энергии ($\Sigma E=5,3658 \cdot 10^9$ Дж) произошло в 1983 – 1987 гг. Самое сильное землетрясение в этом разломе зафиксировано 17.10.1985 г. в краевой восточной части разлома с параметрами ($K=9,5$, $M=3,1$, $E=3,1623 \cdot 10^9$ Дж).

Исследование выполнено при поддержке грантов БРФФИ № X20P-284 и РФФИ № 20-55-00010/20 «Закономерности трансформации экологических функций геосфер крупных горнопромышленных регионов».

Список литературы

1. Айзберг, Р.Е. Синрифтовая геодинамика Припятского прогиба / Р.Е. Айзберг, Т.А. Старчик. – Минск : Беларус. навука, 2013. – 146 с.
2. Аронов, Г.А. Неотектоника и геодинамика Припятского прогиба / Г.А. Аронов // Фундаментальные проблемы тектоники и геодинамики. Том 1. Материалы ЛП Тектонического совещания, г. Москва, 28 янв. – 1 фев. 2020 г. / Отв. ред. К.Е. Дегтярев. – М. : ГЕОС, 2020. – С. 17–20.
3. Геология Беларуси / А.С. Махнач [и др.]; НАН Беларуси, Ин-т геол. наук; под общ. ред. А.С. Махнача, Р.Г. Гарецкого, А.В. Матвеева [и др.] – Минск, 2001. – 815 с.
4. Разломы земной коры Беларуси: монография / Р.Е. Айзберг [и др.]; под ред. Р.Е. Айзберга. – Минск : Красико-Принт, 2007. – 372 с.
5. Тектоника Белоруссии / Под ред. Р.Г. Гарецкого. – Минск : Наука и техника, 1976. – 200 с.
6. Тектоника Припятского прогиба / Под ред Р.Г. Гарецкого. – Минск: Наука и техника, 1979. – 176 с.

SEISMOTECTONIC POTENTIAL OF AN ACTIVE ZONE OF THE NORTH-PRIPYAT SUPERREGIONAL FAULT

G. A. ARONOV, I. I. KOSINOVA

aronovg@tut.by

¹*Centre of Geophysical Monitoring of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Republic of Belarus,
kosinova777@yandex.ru,*

²*FBGEI HE Voronezh State University
Voronezh, Russia*

Abstract. *The main result of this research was the representation of the general pattern of the recent seismotectonic regime in an active zone of the North-Pripyat superregional fault. The areal and space-time arrangement of the earthquake epicentres along the fault was reconstructed. The coordinates of the seismic active fault zone location were determined 52.88° – 53.17°N and 26.93° – 28.40°E. The earthquake distribution along the fault was found to be inhomogeneous in time and space. The most seismically active time determined by the number of earthquakes that occurred within it was the period from 1999 till 2004, and the total amount of the seismic energy released ($\Sigma E=5,3658 \cdot 10^9$ J) fall within 1983 – 1987. The strongest earthquake with $M=3.1$ occurred in October 17, 1985 at the eastern edge of the fault.*

Key words: *earthquake, epicentre, magnitude, fault, tectonics, geodynamics, seismotectonic activity.*

УДК 528.8:553.06 (476)

КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ В СОЛИГОРСКОМ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОМ РАЙОНЕ

В. Н. ГУБИН

vngubin@mail.ru

*Белорусский государственный университет,
г. Минск, Беларусь*

Аннотация. *Рассмотрены результаты ведения космического мониторинга геологической среды в Солигорском горнопромышленном районе в связи с крупномасштабной разработкой Старобинского месторождения калийных солей шахтным способом.*

На основе комплексной интерпретации данных дистанционного зондирования Земли из космоса и геолого-геофизической информации выявлены пространственно-временные закономерности состояния геологической среды, обусловленные горнотехническим фактором.

Ключевые слова: *космический мониторинг, геологическая среда, литомониторинг, геодинамические зоны, очаги землетрясений, мульды сдвижения горных пород, солеотвальные комплексы, эколого-геологическая обстановка.*

Ведущим направлением в оценке состояния и изменений верхней части литосферы под воздействием горнодобывающей промышленности является космический мониторинг геологической среды (ГС), или литомониторинг [4,5]. На основе комплексной интерпретации оперативных и высокоточных данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса, полученных оптико-электронной аппаратурой, возможно выявление трансформаций ГС, вызванных разработкой месторождений полезных ископаемых.

В настоящее время важную роль играет организация и проведение космического литомониторинга в Солигорском горнопромышленном районе, где эколого-геологическая обстановка обусловлена крупномасштабной разработкой Старобинского месторождения калийных солей. Эксплуатация продуктивных горизонтов в подземном пространстве шахтных полей четырех рудников вызывает в промрайоне локальную техногенную сейсмичность, формирование мульд сдвижения горных пород, а в пределах, складированных на земной поверхности твердых солевых отходов развитие экзодинамических процессов.

Структуру космического литомониторинга в Солигорском горнопромышленном районе определяют функциональные системы организации и проведения периодических наблюдений за состоянием ГС по данным ДЗЗ из космоса на предварительном камеральном, полевом и окончательном камеральном этапах. Основными функциональными системами являются научно-техническая подготовка космического литомониторинга, ведение мониторинга ГС горнодобывающих объектов, комплексная оценка состояния ГС и картографическое моделирование эколого-геологических обстановок. Функциональные системы мониторинга ГС на основе ДЗЗ из космоса позволяют определить рациональный комплекс и последовательность отдельных операций литомониторинга, оптимизировать процесс его выполнения.

Инновации в литомониторинге Солигорского горнопромышленного района тесно связаны с ДЗЗ Белорусским космическим аппаратом (БКА), съемочная аппаратура которого позволяет в панхроматическом режиме получать космические снимки (КС) с разрешением объектов на земной поверхности около 2 м, а в мультиспектральном – 10 м. В связи с решением эколого-геологических задач, следует отметить широкий спектральный диапазон съемки БКА, охватывающий как видимую часть спектра, так и ближний инфракрасный интервал электромагнитных волн.

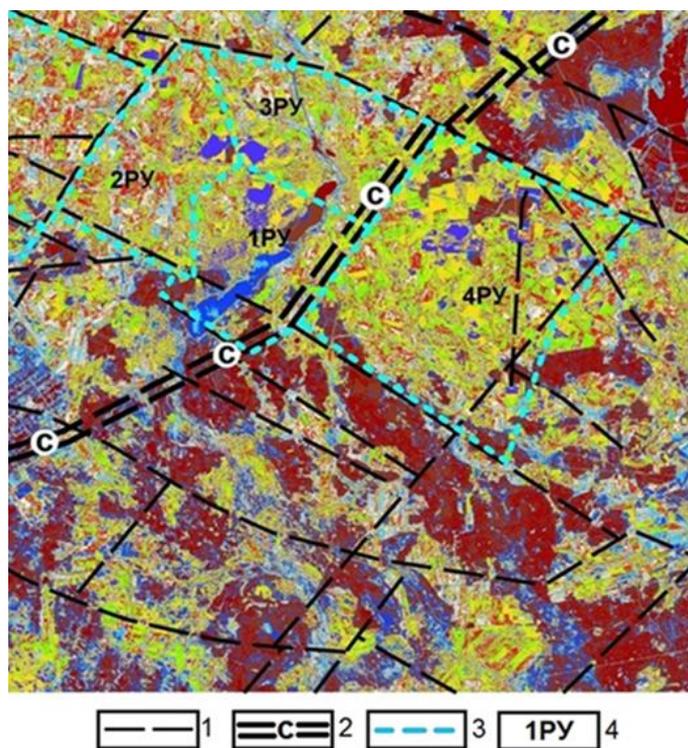
При проведении космического литомониторинга выполнялась цифровая тематическая обработка КС с использованием модулей классификации многозональных космоизображений. На основе программного обеспечения (*ERDAS IMAGINE, ArcGIS, ENVI*) были рассчитаны сигнатуры с учетом спектральной яркости пикселей и выполнена сегментация изображений с последующей их классификацией. Классифицированные КС отличаются значительным количеством однородных областей, занятых одним классом, и информативны для выделения на территории горнопромышленного района эколого-геологических обстановок, их пространственного совмещения с геолого-геофизическими данными и составления оперативных космоэкогеологических карт.

В результате космического литомониторинга Солигорского горнопромышленного района установлены пространственные закономерности распределения активных геодинамических зон, определяющих развитие сложных деформационных процессов, происходящих

в массивах горных пород блокового строения под воздействием неотектонических деформаций, а также вызванных подземной разработкой Старобинского месторождения калийных солей [2,3]. На земной поверхности и КС геодинамические зоны отражаются в виде линеаментов. Формирование геодинамических зон обусловлено новейшей активизацией разломов земной коры разной протяженности, глубины и возраста заложения. К активным геодинамическим зонам тяготеют эпицентры землетрясений, связанные с транзитными сейсмическими событиями и отработкой сильвинитовых руд шахтным способом. Очаги землетрясений с интенсивностью сотрясаемости земной поверхности от 1 – 2 до 4 – 5 баллов (по шкале MSK-64) зарегистрированы сейсмомониторинговыми станциями [1].

Помимо горнодобывающего фактора на сейсмическую активность Старобинского горнопромышленного района оказывает влияние складирование значительного объема галитовых отходов в виде крупных солеотвалов высотой до 120 м и шламохранилищ, статическое давление водных масс Солигорского водохранилища, принудительная закачка рассолов в подземные коллекторы. Подобная техногенная нагрузка приводит к перераспределению напряжений в земных недрах. При этом возникают сдвиговые и растягивающиеся деформации, приводящие к локальной сейсмичности.

В Солигорском горнопромышленном районе ведущую сейсмогенерирующую роль играет Старобинская геодинамическая зона, выявленная по космоструктурным и геолого-геофизическим данным (рисунок 1). В сейсмоактивной зоне зарегистрированы землетрясения интенсивностью 4 – 5 баллов, обусловленные концентрацией и разгрузкой напряжений, энергетическая подпитка которых обусловлена карпатскими и другими транзитными сейсмическими событиями, а также техногенные микроземлетрясения от одного до 2 – 3 баллов, возникающие при подземной отработке калийных горизонтов.



1 – линеаменты, отражающие разрывные дислокации и зоны повышенной трещиноватости платформенного чехла; 2 – Старобинская геодинамическая зона; 3 – границы шахтных полей калийных рудников; 4 – рудуправления ОАО «Беларуськалий»

Рисунок 1 – Отображение на классифицированном космическом снимке Старобинской геодинамической зоны

Проведение космического литомониторинга в пределах шахтных полей рудоуправлений (РУ) разрабатываемого Старобинского месторождения калийных солей позволяет выявить закономерности пространственного распределения мульд сдвижения горных пород над отработанным пространством продуктивных толщ (рисунок 2). Такие процессы образуют в современном рельефе просадочно-западинные формы с размерами в поперечнике от нескольких десятков до первых сотен метров. Максимальная глубина таких форм достигает 4 – 4,5 м. Техногенные просадки наиболее отчетливо выражены в покровных отложениях и на КС в пределах развития моренных супесей и суглинков, перекрытых лессовидными породами.

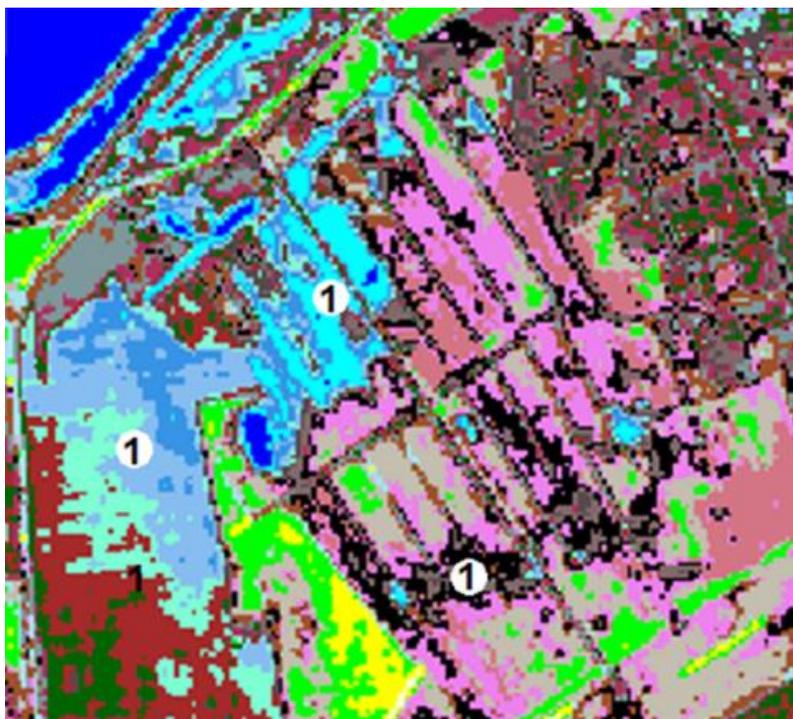


Рисунок 2 – Классифицированный космический снимок мульд сдвижения горных пород (1) в пределах Зажевичской просадки на территории ЗРУ Старобинского месторождения калийных солей

Процессы оседания земной поверхности, сопровождающиеся сдвигами и образованием трещин, приводят к заболачиванию и подтоплению отдельных площадей. На территории ЗРУ в пределах мульд сдвижения горных пород Зажевичской просадки выявлены изменения уровня режима грунтовых вод от 0 до 0,5 м.

В перспективе целесообразно проведение в Солигорском горнопромышленном районе космического литомониторинга в связи с прогнозированием газодинамических явлений, пространственное распределение которых контролируется наряду со многими горно-технологическими и геологическими факторами также разломной тектоникой. Для этих целей наиболее информативны КС с пространственным разрешением до 1 м, позволяющие выполнять дешифрирование проявлений новейшей активизации локальных разломов.

При космическом литомониторинге в Солигорском горнопромышленном районе установлены закономерности экзодинамики ГС в пределах, складываемых на земной поверхности твердых солевых отходов обогащения калийного сырья, которые состоят более чем на 90 % из галита. В солеотвальном комплексе ЗРУ Старобинского месторождения калийных солей выявлены проявления гравитационных процессов на крутых склонах насыпей галитовых отходов, и карстовых в нижней части солеотвалов (рисунок 3).



Рисунок 3 – Отображение на космическом снимке проявлений гравитационных (Г) и карстовых (К) процессов в пределах солеотвального комплекса ЗРУ Старобинского месторождения калийных солей

Развитие гравитационных процессов приводит к перемещению значительных масс галитовых отходов с формированием на склонах солеотвалов сводовых обрушений диаметром 7 – 8 м и глубиной 1 – 2 м. В результате активизации карстовых процессов на поверхности солеотвальных объектов образуются воронки диаметром от нескольких десятков сантиметров до 1 – 1,5 м и глубиной до 2 – 3 м.

Таким образом, космический мониторинг ГС приобретает особую актуальность в Солигорском горнопромышленном районе. Данные ДЗЗ со спутников оптико-электронной аппаратурой совместно с геолого-геофизической информацией эффективно обеспечивают выявление пространственно-временных закономерностей трансформаций ГС, вызванных подземной разработкой Старобинского месторождения калийных солей. Эколого-геологические обстановки необходимо системно и оперативно изучать с целью организации и проведения природоохранных мероприятий в горнопромышленном районе.

Список литературы

1. Аронов, А.Г. Сейсмичность Беларуси / А.Г. Аронов, Р.Р. Сероглазов, Т.И. Аронова, В.М. Колковский // Природные ресурсы. – № 2. – 2009. – С.90–97.
2. Губин, В.Н. Сейсмоактивные геодинамические зоны Старобинского месторождения калийных солей по данным дистанционного зондирования Земли / В.Н. Губин // Геоматика. – № 3. – 2015. – С. 56 – 62.
3. Журавков, М.А. Техногенные динамические события в регионах крупномасштабного освоения подземного пространства / М.А. Журавков // Горная механика и машиностроение. – № 1. – 2014. – С.5– 24.
4. Королев, В.А. Мониторинг геологической среды / В.А. Королев. – М. : Изд-во МГУ, 1995. – 272 с.
5. Сергеев, Е.М. Инженерная геология – наука о геологической среде / Е.М. Сергеев // Инженерная геология. – № 1. – 1979. – С.1– 9.

SPACE MONITORING OF THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT IN THE SOLIGORSK MINING AREA

V. N. GUBIN

vngubin@mail.ru
Belarusian State University,
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. *The results of the conduct of cosmic monitoring of the geological environment in the Soligorsk mining region due to the large-scale development of the Stornobinsky field of potash salts with a mining way. Based on the integrated interpretation of the remote sensing data from space from space and geological and geophysical information, the space-time patterns of the state of the geological environment, due to the mining factor, were revealed.*

Key words: *space monitoring, geological wednesday, litomentoring, geodynamic areas, hearths of earthquakes, multi-radio multiplications, soldy complexes, ecological-geological surveillance.*

УДК 549.550.8:02.553

МОНИТОРИНГ ЭКОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

А. Д. ЖИГАЛИН^{1, 3}, В. С. ЛАВРОВ¹, Е. В. АРХИПОВА², О. В. АНИСИМОВА²

zhigalin.alek@yandex.ru, lavrov@ifz.ru
¹Институт физики Земли имени О. Ю. Шмидта РАН,
г. Москва, Россия,

olenageo@mail.ru
²Государственный университет «Дубна»,
г. Дубна, Московская область, Россия

³Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
г. Москва, Россия

Аннотация. *Из всех видов хозяйственной деятельности наибольший урон окружающей природной среде наносит разработка месторождений полезных ископаемых. При промышленной добыче любых полезных ископаемых происходит заметное негативное изменение геологической среды, ландшафтов, поверхностной и подземной гидросферы. Эти изменения распространяются на значительных площадях, захватывают значительные по глубине массивы горных пород. Каждое из разрабатываемых месторождений полезных ископаемых является объектом «особой важности» и высокого уровня экологического риска.*

Ключевые слова: *месторождения твердых полезных ископаемых, изменение геологической и геофизической среды, объекты особой важности и высокого уровня риска.*

Современные реалии, касающиеся технологий разработки месторождений твердых полезных ископаемых, свидетельствуют о том, что:

– ещё долгое время технологии добычи необходимых твердых полезных ископаемых различных видов будут предполагать глубокое проникновение в геологическую среду, перемещение масс геологического материала, наличие отходов в размере 80–95 % при 20–5 % полезного продукта; при этом многие из этих отходов характеризуются потенциально высокой степенью опасного экологического воздействия;

– ещё долгое время будет сохраняться тенденция возрастания противоречия между потребностью максимального улучшения условий жизнедеятельности населения, с одной стороны, и необходимостью поддерживать на приемлемом уровне (в границах гомеостаза) существования биосферы в целом как оболочки жизни, с другой стороны;

– ещё сохраняется остаточный принцип оценки техногенного физического загрязнения геологического пространства в местах разработки месторождений полезных ископаемых.

Добыча полезных ископаемых всегда (!) создает напряженность экологической обстановки на локальном (в рамках одного предприятия с его инфраструктурой) и/или региональном (комплексы добывающих, обогащающих и перерабатывающих предприятий) уровнях. Это связано с отчуждением больших территорий и объемов геологической среды, активизацией экзогенных и эндогенных геологических процессов, формированием устойчивого химического и физического (энергетического) видов загрязнения, трансформацией экологических ресурсной, динамической, геохимической и геофизической функций, «ответственных» за оптимизацию условий существования биосферы [5]. Службы, призванные следить за поддержанием в норме экологического состояния окружающей среды в горнорудных районах, в той или иной мере пытаются решать эту задачу. Однако время от времени возникают чрезвычайные ситуации с заметной негативной экологической составляющей.

Причиной является то, что формирование большинства месторождений полезных ископаемых связано с проявлениями тектонических процессов. И, если полезные ископаемые осадочного происхождения формируются в спокойных тектонических условиях медленного прогибания бассейнов, то металлическое оруденение концентрируется главным образом в условиях высокой энергетики тектонических процессов растяжения и формирования коры океанических бассейнов, а также сжатия и образования горноскладчатых сооружений. Большинство гетерогенных систем уже пережили активную фазу своего становления и перешли в равновесное состояние, однако, часть из них по-прежнему находится под влиянием современных геодинамических преобразований и чувствительна к внешним воздействиям. В силу этого добыча ископаемых сопровождается комплексом явлений, представляющих собой ответную адаптационную реакцию геологической среды на оказываемые на неё воздействие.

При добыче твердых полезных ископаемых наиболее активный отклик геологической среды наблюдается при добыче с использованием подземных горных выработок, реже – при открытой добыче карьерным способом. Проявлениями геодинамической нестабильности являются техногенные землетрясения, горные удары, «стреляние» горных выработок. Наиболее широко распространены такие явления при добыче каменного угля, калийных солей, разработке месторождений бокситов, железорудных месторождений и месторождений редких металлов. В России проявления шахтной техногенной сейсмичности известны в пределах Кольского полуострова на Хибинских апатитовых рудниках, Ловозерском редкометальном месторождении. Горные удары проявляются на Уральских бокситовых рудниках, при добыче калийных солей Верхнекамского месторождения в Предуралье и др. Всего на территории Российской Федерации зарегистрировано более тридцати удароопасных рудных и угольных месторождения. Часть разрабатываемых месторождений находится в регионах с сейсмичностью более 7 баллов. К таким регионам относятся, например, Кузбасс и Горная Шория, Средний Урал и Кольский

полуостров. На этих месторождениях часто происходят аварии по причине горно-тектонических ударов, поскольку техногенная нагрузка на недра осложняется повышенной сейсмической активностью. Серьезной проблемой остается опасность прорыва воды в горные выработки. Отмечается, что вода столь же опасна, как метан, угольная пыль, горные разрывы. По данным Ростехнадзора России на угольных шахтах ежегодно происходит десятки прорывов с затоплением выработок и с групповыми несчастными случаями. К сожалению до сих пор у горняков нет единого представления о природе и механизмах образования газодинамических явлений и горно-тектонических ударов и общепризнанных способов их прогноза и предотвращения.

Опыт изучения геодинамических процессов, сопутствующих горным работам, показывает, что предпосылкой возникновения техногенной шахтной сейсмичности является нарушение неустойчивого равновесия массивов пород в напряженно-деформированном состоянии. Равновесное состояние массивов формируется в течение длительных периодов времени и обеспечивается особой организацией объемов геологической среды на различных уровнях, а также особенностями гидрогеологического режима. Дестабилизации равновесного состояния способствует формирование подземных полостей, нарушающих естественную структуру поля напряжений в массивах горных пород, проведение работ с использованием взрывчатых веществ, момента начала разработок до начала проявлений возбужденной (наведенной) сейсмичности может составлять от 2 до десятков лет.

В настоящее время в практику оценки геологических условий проведения горных работ выявление «удароопасных» геологических массивов не входит. Не существует четких критериев, согласно которым на стадии проектирования горных выработок можно было бы прогнозировать техногенную сейсмичность [4]. Вместе с тем, существуют эффективные геофизические методы выявления особенностей поведения геологической среды при техногенном воздействии, например, посредством наблюдения сейсмоакустической эмиссии. Этот метод был создан для контроля состояния среды при добыче сланцевых углеводородов, но может быть использован для оценки активности геологической среды в окрестности действующих и проектируемых горных выработок, предназначенных для добычи твердых полезных ископаемых.

Оптимальным вариантом подготовки месторождения к разработке и дальнейшей его эксплуатации с учетом неизбежных изменений экологической обстановки может быть научное сопровождение месторождения. Для этого в настоящее время есть широкая «линейка» возможностей, начиная от космического изучения зоны земельного отвода и кончая детальными инженерно-экологическими исследованиями с составлением долгосрочных прогнозов.

Образование месторождений рудного минерального сырья определяется наличием участков земной коры, с повышенной трещиноватостью, в пределах которой возможна миграция рудоносных флюидов, и формирование скоплений полезных ископаемых. Задачи поисков таких месторождений, их разработки и эксплуатации требуют выявления закономерностей строения и площадного распространения рудного вещества, пути его перемещения в места накопления. В этих целях давно применяются методы дистанционного зондирования Земли (МДЗ), хотя непосредственно на космических снимках месторождения и рудопроявления не отображаются, а выделяются лишь их прямые и косвенные дешифровочные признаки – форма и размеры месторождения (прямые признаки), и природные взаимосвязи и взаимообусловленность объектов и явлений в природе (косвенные признаки). Такими признаками могут быть, например, зависимость вида растительного покрова от типа почвы, ее засоленности и увлажненности или связь рельефа с геологическим строением местности и их совместная роль в почвообразовательном процессе. При реализации этого алгоритма возможно распознавание объектов по спектральным характеристикам, создание фотопортретов и моделей рудных районов, выделение нарушений земной поверхности, зон трещиноватости, структур различной

природы и возраста [3]. Методика прогнозирования оруденения базируется на принципе поэтапного анализа космических снимков разного пространственного разрешения и уровня генерализации (УГ). Оптимальным считается изучение региона на трех-четырёх уровнях генерализации, отличающихся в 2,5 – 5 раз. Исследования на каждом этапе должны опираться на материалы предыдущего уровня с обязательным использованием всего комплекса данных (структурных, геофизических, магматических, геохимических, неотектонических и пр.).

Технология работ включает следующие основные этапы:

- подборка необходимого фактического материала и заказ снимков МДЗ, а также предварительная обработка данных;
- первичная интерпретации данных: составление схемы основных структурных элементов, их геологическая интерпретация и корреляция с минерагеническими данными, выявление факторов контроля рудоносности, разработка предварительной прогнозно-поисковой модели;
- анализ развития и особенностей структур на различных этапах их развития, комплексная интерпретация данных, составление структурной сводной схемы и предварительной прогнозно-поисковой модели, совместный анализ минерагенических данных и сводной структурной схемы, ревизия известных и выявленных новых рудоконтролирующих структур и их характеристик, составление структурно-минерагенической схемы;
- построение и оптимизация модели, уточнение структурной минерагенической карты, разработка структурных критериев и комплексного геолого-геофизического критерия, промежуточной комплексной прогнозно-поисковой модели минерагенического объекта составление итоговых структурной и прогнозно-минерагенической карт.

Материалы дистанционного зондирования дают представление о современном состоянии геологической среды, позволяют прогнозировать процессы и явления и принимать необходимые меры по предотвращению и/или ликвидации негативных последствий. Разрабатываются методики дистанционного экологического мониторинга территорий. По материалам космических съемок составляются карты изменений геологической среды и рекомендуемых природоохранных мероприятий многих рудных районов. Геоэкологические карты входят в комплект обязательных карт при геологической съемке. Они содержат информацию, как о природном, так и техногенном ландшафте и связанных с ними аномалиях. Геоэкологические карты должны являться основой для выработки решений об использовании тех или иных ресурсов в экономических интересах с учетом экологической составляющей [2].

Оценка воздействия на окружающую геологическую среду и физического ее загрязнения часто осуществляется по остаточному принципу. Все горнодобывающие предприятия, промышленные комплексы, а также предприятия ядерного топливного цикла уже своим существованием и реализацией соответствующих технологий способствуют формированию в местах их размещения устойчивых техногенных эколого-геофизических аномалий, которые играют важную роль в создании экологической обстановки и иногда являются причиной эпизодического и/или периодического возникновения чрезвычайных ситуаций.

Геофизическая аномалия переходит в категорию эколого-геофизической тогда, когда её величина существенно отличается от «нормального» (фоновое) уровня физического поля и превышает допустимые биологический или санитарный пороги, установленные регламентирующими документами. Это значит, что физические поля (в первую очередь, техногенные) в пределах таких аномалий потенциально могут оказывать воздействие на живые организмы и организм человека с негативными последствиями [1].

Эколого-геофизические аномалии на разрабатываемых месторождениях полезных ископаемых или подготавливаемых к разработке площадях несут в себе потенциальный эколого-геофизический риск, который может реализоваться, если не принимать

во внимание его возможность. Для оценки возможного изменения экологической ситуации следует обращать внимание на те геофизические поля, которые формируют экологическую обстановку – температурное, электромагнитное, радиационное и сейсмоакустическое (вибрация и шум). При этом следует учитывать следующее:

- промышленная горнодобывающая деятельность отчуждает от 0,1 до 100 кв. км при глубине проникновения в геологическую среду 0,05 – 1,5 км (иногда глубже); аномалии температурного поля достигают от 2 – 15 до 100 – 200 градусов, электромагнитного поля – 20 – $2 \cdot 10^3$ В/км и более, радиационного 3 – 50 мкЗв/г и более и сейсмоакустического – от 20 до 300 дБ;

- при эксплуатации месторождений подземных вод или водоотведении, что неизбежно сопровождает горно-рудное производство, геофизические аномалии достигают, в том же порядке: захват геологического пространства по площади и по глубине составляет от 10 до 500 кв. км и 0,1 – 1 км; величина аномалий, в той же последовательности – более 10 – 20 градусов, 10 – $5 \cdot 10^2$ В/км, 3 – 30 мкЗв/г, от 10 до 30 дБ и более;

- общая промышленная деятельность, относящаяся к добывающей отрасли, характеризуется следующими показателями геофизических аномалий: отчуждение и захват геологического пространства – 0,1 – 100 кв. км, 0,05 – 1,5 км, величина аномалий от 5 – 20 до 300 – 500 градусов, 20 – $2 \cdot 10^3$ В/км, от 3 – 5 до 30 – 50 мкЗв/г, от 20 до 120 дБ;

- городское строительство и коммунальное хозяйство (инфраструктура и сопутствующее городское и промышленное строительство и, конечно, транспорт) также вносят свою лепту в формирование геофизических аномалий, характеризующихся следующими данными: захват геологического пространства по площади 0,1 – 1000 кв. км и по глубине 0,01 – 0,5 км, температурные аномалии могут достигать от 5 – 10 до 400 – 600 градусов, электромагнитные аномалии формируются в пределах 50 – $2 \cdot 10^3$ В/км, радиационные имеют величину от 3 – 5 до 15 – 20 мкЗв/г и сейсмоакустические – от 20 до 150 [5].

Приводимые количественные характеристики геофизических аномалий, возникающих при различных видах промышленной горнорудной деятельности с развитой инфраструктурой и транспортной сетью, отображают существующую на сегодняшний день ситуацию. Однако технологии горнорудного производства непрерывно совершенствуются и, на словах, по крайней мере, все больше «экологизируются». Прошедшая недавно в Москве Общероссийская научно-практическая конференция «Инженерно-экологические изыскания – нормативно-правовая база, современные методы и оборудование» показала, что проблема экологического ориентирования инженерных изысканий пока остается недостаточно проработанной проблемой, еще не преобразованной в цепочку задач, которые необходимо решать при проведении инженерных изысканий. Поэтому не заложенные изначально в изыскания экологические принципы (требования) время от времени проявляются в форме чрезвычайных ситуаций на предприятиях с «тяжелыми» технологиями, не в последнюю очередь в горнодобывающем кластере. Примерно пятая часть из 33-х представленных на конференции докладов касалась вопросов инженерно-экологических изысканий при строительстве. Однако словосочетание «геофизическая экология» ни в одном контексте не прозвучало. Справедливости ради следует заметить, что много внимания было уделено вопросам экологического прогнозирования в рамках проводимых инженерно-экологических, как их будут представлять разрабатываемые ныне регламентирующие документы. Но, конечно, и в прогнозах «геофизический экологический фактор» не предусматривался.

В то же время, если приведенные выше характеристики геофизических аномалий сопоставить с действующими санитарными нормами, то окажется, что во многих случаях сформировавшиеся аномалии геофизических полей различных видов выходят за «разрешительные» рамки санитарных норм. Это относится к температурным аномалиям, а также в значительной мере аномалиям электромагнитного поля и сейсмоакустических полей. Так, например, санитарная норма температурного поля составляет всего 16 – 18 °С

(в ряде специально оговоренных случаев 18 – 20 °С), акустического поля для производственных помещений – 60 – 70 дБ и др. [1]. Такое расхождение реальных влияющих геофизических факторов с санитарными нормами автоматически относит геофизическое загрязнение к категории экологических факторов прямого воздействия и понуждает принимать меры к оптимизации условий нахождения персонала предприятий в местах устойчивого существования геофизических аномалий. Поскольку в настоящее время оценке техногенного физического (энергетического, в отличие от химического – вещественного) загрязнения уделяется недостаточное внимание, целесообразно рекомендовать введение в горнодобывающей отрасли и в том числе на добывающих, обогатительных и перерабатывающих предприятиях специальных эколого-геофизических паспортов.

Эколого-геофизический паспорт предприятия должен представлять собой ведомственный технический документ, включающий данные о геофизической и экологической обстановке в регионе и непосредственно в месте расположения предприятия. Он должен содержать набор данных, выраженных через геофизические параметры, отражающих общую природно-техногенную геофизическую и экологическую обстановку и взаимосвязь природных и техногенных физических полей в месте расположения предприятия и его окрестностях.

Геофизический паспорт предприятия должен содержать сведения о всех объектах-источниках техногенных физических полей как входящих в инфраструктуру служб предприятия и связанных с предприятием, так и не имеющих к предприятию непосредственного отношения, но могущих оказывать влияние на эколого-геофизическую обстановку на данном предприятии.

Эколого-геофизический паспорт предприятия должен разрабатываться собственными техническими службами предприятия и службами безопасности производственной деятельности с привлечением к работе квалифицированных специалистов-геофизиков и экологов. Желательно введение в состав технического персонала службы главного инженера специального ответственного по контролю эколого-геофизических условий на предприятии.

Основой для составления геофизического паспорта предприятия являются показатели, определяющие влияние аномалий геофизических полей на персонал всех служб предприятия. Геофизический паспорт предприятия не заменяет и не отменяет ныне действующие нормативные документы, регламентирующие функционирование предприятия, а является дополнением к ним.

Это нововведение позволило бы унифицировать подход к оценке эколого-геофизической обстановки на предприятиях горнорудной промышленности, приучить руководящий состав производственных предприятий внимательнее относиться к самочувствию и общему состоянию рабочего персонала и, в конечном итоге, таким образом, сохранять и поддерживать его работоспособность, добиваться лучших показателей в производстве и минимизировать сопутствующий технологический и экологический риск в добывающей промышленности.

Список литературы

1. Богословский, В.А. Экологическая геофизика / В.А. Богословский [и др.]. – М. : Изд-во МГУ, 2000. – 256 с.
2. Воробьев, А.Е. Современная методика дистанционного экологического мониторинга территорий / А.Е. Воробьев [и др.]. // 60 лет развития методов дистанционного зондирования природных ресурсов: итоги и перспективы : тезисы Междунар. науч. конф. – СПб : МПР России: Аэрогеология: НИИКАМ, 2004. – С. 118–119.
3. Корчуганова, Н.И. Аэрокосмические методы в геологии / Н.И. Корчуганова. – М. : Геокарт: ГЕОС, 2006. – 244 с.

4. Пономарев, В.С. Энергетическая активность геологических систем / В.С. Пономарев, Е.В. Архипова // LAP LAMBERT Academic Publishing Saarbrucken, Deutchland, 2017. – 328 с.
5. Трофимов, В.Т. Трансформация экологических функций литосферы в эпоху техногенеза / В.Т. Трофимов [и др.]. – М. : Изд-во «Ноосфера», 2006. – 720 с.

MONITORING OF THE ENVIRONMENTAL AND GEOPHYSICAL SITUATION DURING DEVELOPMENT OF SOLID MINERAL DEPOSITS

A. D. ZHIGALIN^{1,3}, V. S. LAVROV¹, E. V. ARKHIPOVA², O. V. ANISIMOVA²

zhigalin.alek@yandex.ru, lavrov@ifz.ru

¹ *The Schmidt Institute of Physics of the Earth Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia,*

² *State University "Dubna",
Dubna, Moscow region, Russia,*

olenageo@mail.ru

³ *Moscow State University named after M. V. Lomonosov,
Moscow, Russia*

Abstract. *Of all types of economic activity, the greatest damage to the surrounding natural environment is caused by the development of mineral deposits. In the industrial extraction of any minerals, there is a noticeable negative change in the geological environment, landscapes, surface and underground hydrosphere. These changes apply to large areas; occupy a large depth of the rock massifs. Each of the developed mineral deposits is an object of "special importance" and a high level of environmental risk.*

Key words: *deposits of solid minerals, changes in the geological and geophysical environment, objects of special importance and a high level of risk.*

УДК 550.34.016+ 662.2

ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ НА ГРАНИТНОМ КАРЬЕРЕ «МИКАШЕВИЧИ» В БЕЛАРУСИ

А. Г. АРОНОВ¹, Т. И. АРОНОВА¹, В. А. ЕГОРОВА¹, А. А. КУРСЕВИЧ¹,
Ю. В. МАРТИНОВИЧ¹, В. Ч. ОРЛОВСКИЙ², О. С. РАЕЦКАЯ¹, Н. В. САСИНА¹,
К. В. ТЕРЕЩЕНКО¹

info@cgm.by

¹ *Центр геофизического мониторинга Национальной академии наук Беларуси,
г. Минск, Беларусь*

² *Республиканское унитарное производственное предприятие «Гранит»
Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь,
г. Микашевичи, Беларусь*

Аннотация. *Получена инструментальная оценка сейсмического воздействия на жилую застройку г. Микашевичи при проведении массовых промышленных взрывов на гранитном карьере «Микашевичи» (РУПП «Гранит») на основе сейсмологических наблюдений. В качестве основного критерия оценки сейсмической опасности использовалось*

значение суммарной векторной скорости движения частиц (колебаний) грунта, максимальное значение которого по результатам обработки данных сейсмологических наблюдений не превысило 0,5 см/с. Макросейсмический эффект изученных взрывов не превышает 4 баллов по шкале MSK-64. Инструментально зарегистрированные и изученные взрывы карьера «Микашевичи» не создают критических сейсмических воздействий. Даны рекомендации по дальнейшему изучению сейсмических воздействий при проведении буровзрывных работ на карьере.

Ключевые слова: массовые промышленные взрывы, инструментальная оценка, сейсмическое воздействие, буровзрывные работы, сейсмологические наблюдения, WSG, Delta03, Seiscomp, Seisan, Hyposat, Lennartz 3DLite, Дельта-03М.

На гранитном карьере «Микашевичи» (РУПП «Гранит») выполнена инструментальная оценка влияния взрывных работ на площадку размещения зданий и сооружений в городе Микашевичи. Буровзрывные работы в карьере «Микашевичи» проводятся постоянно для отбойки и рыхления породы в соответствии с планами развития горных работ предприятия. Центром геофизического мониторинга НАН Беларуси с середины августа до середины ноября 2021 года проведены сейсмологические наблюдения с регистрацией массовых промышленных взрывов, производимых в гранитном карьере «Микашевичи» и последующей обработкой зарегистрированных сейсмических сигналов, обобщением и анализом полученных результатов.

В соответствии с проектом буровзрывных работ и с схемой расположения скважин в пределах уступов карьера, взрывы производились блоками с короткозамедленным взрыванием один раз в неделю, по пятницам. В качестве средств взрывания применялись системы неэлектрического инициирования «Искра» или «Импульс». Заряды размещались в скважинах (вертикальные, наклонные) диаметром 250 мм, 215 мм, 165 мм, 152 мм; взрывание проводилось с помощью устройства пускового УПЭ-1,5/4 с использованием волновода. Масса взрывчатого вещества изменялась для каждого блока от 21 тыс до 217 тыс кг в тротиловом эквиваленте.

Для изучения пространственных особенностей волнового поля массовых промышленных взрывов карьера «Микашевичи» была выполнена специальная расстановка сейсмических станций на разных удалениях от карьера и в разных азимутальных направлениях.

Для сейсмологических наблюдений использовались цифровые сейсмические станции на базе короткопериодных трехкомпонентных сейсмометров-велосиметров 3DLite (Lennartz Electronic, Германия) [1] и регистраторов сейсмических сигналов Дельта-03М (изготовитель-предприятие ГЕОТЕХ, Россия) [2]. Схема места установки сейсмических станций показана на рисунке 1. Для снижения фона естественных и техногенных шумов установка сейсмических датчиков выполнялась в заглубленной конструкции. На месте размещения сейсмического датчика бурилась скважина диаметром 250 мм и глубиной примерно 2 м. В пробуренную скважину устанавливалась полиэтиленовая труба с гидроизоляцией и заливался раствор бетона. Далее поверх застывшего бетона накладывался тонкий слой нивелирующего раствора, на который устанавливался сейсмический датчик. Затем выводился сигнальный кабель, и скважина закрывалась защитным колпаком с вентиляционными отверстиями.

Для обработки записей сейсмологических наблюдений и расчетов параметров сейсмического воздействия от массовых промышленных взрывов в гранитном карьере «Микашевичи» по данным инструментальных сейсмологических наблюдений использовались программы: WSG (Windows Seismic Grafer), Delta03, Seiscomp, Seisan, Hyposat [3].

Методика камеральной обработки записей включала в себя этапы выделения полезного сигнала (от взрывов) и определения его основных параметров.

Программа WSG использовалась для обработки сейсмических сигналов и оценки параметров гипоцентров сейсмических событий как по записям одной станции, так и по

группе станций. Как правило, этот программный комплекс используется в качестве рабочего места сейсмолога, как на отдельных сейсмических станциях, так и в информационно-обрабатывающих центрах.



Рисунок 1 – Схема карьера «Микашевичи» и места установки сейсмических станций (Гранит 1 и Гранит 2)

На первом этапе для преобразования записи каждый отсчет централизованного сигнала был разделен на коэффициент преобразования канала. Для этого использовалось преобразование с использованием «формулы» в окне «Волновых форм». Для каждого окна была написана своя формула:

$$\text{Butter}(\text{Current} - \text{Mean}(\text{Current})), a, b, k) / \text{kof},$$

где функция *Mean* вычисляет среднее значение набора данных, функция *Current* эквивалентна данным в текущем окне, число *kof* просчитанный коэффициент преобразования для каждой станции, *a* – нижняя, *b* – верхняя границы полосы частот, *k* – порядок фильтра Баттерворта (от 2 до 10).

Далее в ходе инструментальной оценки сейсмического воздействия производились расчеты амплитудного спектров и спектральной плотности мощности. Амплитудный спектр строился с использованием системы *Matlab*. Для получения значений спектральной плотности мощности использовалась программа *MicroNoise V 1.3.1*, авторами которой является Лаборатория ПТС «ГИ УрО РАН» [4].

Для получения амплитудного спектра использовался прямой способ – непосредственное вычисление преобразования Фурье заданного временного ряда.

Метод, используемый для оценки спектра мощности сигнала, получил название метода периодограмм. Если имеется функция *c(t)*, оцифрованная в *N* равномерно отстоящих точках, то ее дискретное Фурье – преобразование будет иметь вид:

$$C_k = \sum_{j=0}^{N-1} c_j e^{2\pi i j k / N}, k = 0, \dots, N - 1,$$

а периодограмма, представляющая спектр мощности, будет определена в $N/2 + 1$ точках следующим образом:

$$P(0) = P(f_0) = \frac{1}{N^2} |C_0|^2$$

$$P(f_k) = \frac{1}{N^2} [|C_k|^2 + |C_{N-k}|^2], k = 1, 2, \dots, \left(\frac{N}{2} - 1\right),$$

$$P(f_c) = P\left(f_{\frac{N}{2}}\right) = \frac{1}{N^2} |C_{N/2}|^2,$$

где f_k – неотрицательная частота:

$$f_k = \frac{k}{N\Delta} = 2f_c \frac{k}{N}, k = 0, 1, \dots, \frac{N}{2}.$$

При изучении сейсмического воздействия от массовых промышленных взрывов учитывались данные о микросейсмическом фоне в районе проведения работ. Анализ спектров среднесуточного микросейсмического фона районов станций позволил выявить его дополнительные особенности. В целом, уровень микросейсмического фона района исследований в различных диапазонах частот относительно низкий. Среднее значение естественного микросейсмического фона в пунктах наблюдений составляет $1,99 \cdot 10^{-3}$ см/с, записанного сейсмостанцией «Гранит 1» и $1 \cdot 10^{-3}$ см/с – «Гранит 2». Вместе с тем, в структуре микросейсмического фона четко выделяются относительные максимумы в отдельных диапазонах частот.

Наиболее часто на Z канале экстремумы наблюдаются на частотах 4 Гц на разных станциях. Горизонтальные составляющие имеют в ряде случаев более выраженные экстремумы и на более низких частотах 1 – 2 Гц.

Оценка влияния мощности взрыва на интенсивность скорости движения частиц грунта

Мощность взрыва является основным фактором для оценки степени сейсмических воздействий. При обработке сейсмологических записей было выявлено:

- горизонтальные составляющие записи проявляются интенсивнее чем вертикальная компонента;
- для всех взрывов характерным является возбуждение сейсмических волн, поляризованных в горизонтальной плоскости.

Основным критерием оценки сейсмических воздействий от массовых промышленных взрывов на жилую застройку является значение суммарной векторной скорости движения частиц (колебаний) грунта [5, 6]. В практике инженерной сейсмологии для оценки максимального модуля вектора массовой скорости смещения грунта общепринято использовать следующую формулу:

$$V_{\Sigma 0} = (V_x^2 + V_y^2 + V_z^2)^{\frac{1}{2}},$$

где V_x, V_y, V_z – максимальные скорости колебаний грунта по трем ортогональным направлениям.

Для описываемых данных в качестве V_x используется скорость движения грунта в направлении $W-E$, в качестве V_y – скорость движения грунта в направлении $N-S$. Следует отметить, что максимальные значения скоростей достигаются у разных компонент не одновременно. Поэтому векторная скорость не относится к какому-либо общему для всех компонент моменту времени. Тем не менее, исследованиями [5, 6, 7] было показано, что величина суммарной векторной скорости, определяемой по указанной выше формуле, с одной стороны тесно коррелируется с плотностью потока сейсмической энергии, а с другой – имеет прямое отношение к условиям повреждения сооружений.

Именно значение суммарной векторной скорости дает представление о допустимых сейсмических воздействиях.

Для получения обоснованных данных о характере сейсмических воздействий на жилую застройку г. Микашевичи от взрывов различной мощности, производимых на разных горизонтах, были изучены:

1. Характер затухания суммарной векторной скорости и ее составляющих от расстояния, как для отдельных взрывов, так и для всех исследуемых взрывов.

2. Зависимость суммарной векторной секторной скорости от приведенного расстояния.

Полученные значения суммарной векторной скорости и ее составляющих позволили проследить характер затухания сейсмического эффекта в разных направлениях, а также выделить обобщенную характеристику сейсмического воздействия от взрывов – зависимость суммарной векторной скорости V от приведенного расстояния, определяемого по формуле [5, 6, 7]:

$$R_{np} = \frac{R}{Q^{1/3}},$$

где R – расстояние от очага взрыва до пункта наблюдений (м), Q – суммарная величина заряда (кг).

Необходимо отметить, что допустимая скорость смещения грунта при промышленных взрывах для инженерных сооружений, находящихся в зоне влияния карьера, в основном находится в пределах от 1.0 до 3.0 см/с [5, 6, 7]. В связи с тем, что сейсмическое влияние буровзрывных работ носит кратковременный характер, здания и сооружения не подвержены состоянию резонанса, т.е. опасность их разрушений за счет этого эффекта невелика.

В результате выполнения комплекса исследований, по инструментальной оценке, сейсмического воздействия от массовых промышленных взрывов на гранитном карьере «Микашевичи», были получены следующие выводы и результаты:

1. Среднее значение естественного микросейсмического фона в пунктах наблюдений составляет $1,99 \times 10^{-3}$ см/с для станции «Гранит 2» и 1×10^{-3} см/с для станции «Гранит 1».

2. Интенсивность сейсмического воздействия для оценки сейсмического воздействия промышленных взрывов на гранитном карьере «Микашевичи» определялась по двум показателям:

- максимальное значение суммарной векторной скорости;
- балльность по шкале интенсивности сейсмических воздействий.

Основная мощность сейсмического сигнала сосредоточена на низких частотах до 7 Гц. Максимальная сейсмическая энергия при всех взрывах распространяется в горизонтальной плоскости. Максимальные инструментально зарегистрированные значения суммарной векторной скорости смещения грунта, зафиксированные на площадках размещения аппаратуры наблюдений при проведении массовых взрывов, не превышают 0,5 см/с. Макросейсмический эффект изученных взрывов не превышает 4 баллов по шкале *MSK-64*. Инструментально зарегистрированные и изученные взрывы карьера «Микашевичи» не создают критических сейсмических воздействий.

В качестве основных рекомендаций по дальнейшему изучению сейсмических воздействий при проведении буровзрывных работ на карьере «Микашевичи» планируется продолжить исследования, в том числе:

- провести дополнительные инструментальные наблюдения для получения достаточных статистических данных для оценки влияния взрыва на инженерные сооружения с определением эмпирической зависимости, позволяющей производить расчет допустимой массы заряда, подрываемого вблизи строений;
- оценить сейсмические воздействия и распределение максимумов сейсмической энергии в зависимости от направления взрыва;
- оценить сейсмические воздействия в зависимости от протяженности подрываемого блока.

Список литературы

1. Техническая документация фирмы «Lennartz electronic GmbH». LE-xD Seismometer Family, DN: 990-0073. – Tübingen, Germany, 2012. – 30 с.
2. 24 Регистратор сейсмических сигналов «Дельта-03». Руководство по эксплуатации. ИТЛЯ.416611.004 РЭ. – М. : 2007. – 20 с.
3. Инструкция проведения станционной обработки цифровых сейсмических записей с помощью программы WSG. – Обнинск, 2016. – 19 с.
4. Дягилев Р.А. «MicroNoise V 1.3.1 Руководство пользователя», «ГИ УрО РАН», 2020.
5. Ершов, И. А. О плотности сейсмической энергии колебаний грунта при взрывах / И.А. Ершов, С.В.Медведев // Труды ИФЗ АН СССР. – М. – 1964. – № 33 (200). – С. 50–58.
6. Кириллов, Ф.А. Инструкция по обследованию сейсмического действия взрывов на сооружения / Ф.А. Кириллов [и др.]. // Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 6. – Труды ИФЗ АН СССР. – М. : Изд-во АН СССР, 1962. – № 21 (188). – С.118–122.
7. Медведев, С.В. Сейсмический эффект взрывов на руднике / С.В. Медведев, Г.А. Лямзина // Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 6. – Труды ИФЗ АН СССР, – М. : Изд-во АН СССР, 1962. –№ 21 (188)). – С. 73–102.

INSTRUMENTAL ASSESSMENT OF THE SEISMIC IMPACT OF INDUSTRIAL EXPLOSIONS AT A GRANITE QUARRY «MIKASHEVICH» IN BELARUS

¹A. G. ARONOV, ¹T. I. ARONOVA, ¹V. A. EGOROVA, ¹A. A. KURSEVICH,
¹Yu. V. MARTSINOVICH,
²V. Ch. ARLOUSKI, ¹O. S. RAETSKAYA, ¹N. V. SASINA, ¹K. V. TSIARESHCHENKO

info@cgm.by

¹*Center for geophysical monitoring National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Republic of Belarus*

²*Republican Unitary Production Enterprise «Granit» of the
Ministry of Architecture and Construction,
Mikashevichi, Republic of Belarus*

Abstract. *On the basis of seismological observations, the seismic impact instrumental assessment on the residential development of the city of Mikashevichi during mass industrial explosions at the granite quarry "Mikashevichi" (RUPP "Granite") was obtained. As the main criteria for assessing seismic hazard, the value of the total vector velocity of the movement of particles (vibrations) of the soil was used, the maximum value of which, according to the results of processing data from seismological observations, did not exceed 0.5 cm/s. The macro seismic effect of the studied explosions does not exceed 4 points on the MSK-64 scale. According to the existing regulations, areas with a seismic hazard of 6 or more points are considered to be seismically dangerous. Thus, instrumentally recorded and studied explosions of the Mikashevichi quarry do not create critical seismic impacts. Recommendations are given for further study of seismic impacts during drilling and blasting operations at the quarry.*

Key words: *massive industrial explosions, instrumental assessment, seismic impact, rock blasting, seismological observations, WSG, Delta03, Seiscomp, Seisan, Hyposat, Lennartz 3DLite, Delta-03M.*

МИКРОСЕЙСМИЧЕСКИЙ ШУМ И ЕГО ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА

Л. И. НАДЕЖКА^{1,2}, И. А. СИЗАСК¹, И. Н. САФРОНИЧ¹

nadezhka@geophys.vsu.ru; sizaskia@gmail.com; igor@geophys.vsu.ru

¹ФГБУН ФИЦ ЕГС РАН,
г. Воронеж, Россия

²ФГБОУ ВО Воронежский государственный университет,
г. Воронеж, Россия

Аннотация. *Микросейсмический шум является сложным процессом, в котором отражается, как геологическое строение, эндогенные процессы, так и влияние на геологическую среду внешних факторов. Показаны пространственные изменения интенсивности микросейсмического шума и его временные вариации: от годичной периодичности до колебаний с периодом 5-6 секунд. Сделан вывод о необходимости учета микросейсмического шума при развитии городских агломераций.*

Ключевые слова. *Микросейсмический шум, временные вариации, годовая периодичность.*

Как известно, каждая точка земной поверхности колеблется [1-4]. Эти колебания образуют изменяющееся во времени и пространстве микросейсмическое поле – микросейсмический шум (МСШ). Интенсивность и спектральный состав микросейсмического шума оказывают значительное влияние на комфортность среды обитания и здоровья человека. Исследование особенностей пространственного изменения уровня микросейсмического шума и его временных вариаций, особенно в пределах техногенно-нагруженных территорий открывает возможности выделения территорий с неблагоприятными микросейсмическими условиями.

Микросейсмический шум включает в себя как собственные колебания частиц геологической среды, так и сейсмический отклик среды на внешнее воздействие.

Собственные колебания частиц геологической среды могут быть обусловлены особенностями строения, физическими свойствами, процессами, протекающими в недрах Земли, метеофакторами, собственными колебаниями Земли и другими факторами эндогенного характера [5].

Сейсмический отклик среды на внешние воздействия формируются под влиянием работы различного рода механизмов, транспорта, хозяйственной деятельности человека. Суммарное воздействие как внутренних, так и внешних факторов реализуется в виде сложного волнового процесса. На примере анализа микросейсмического шума в пределах двух крупных, отличных по геологическому строению, неоген-четвертичных структур: Среднерусской возвышенности и Окско-Донской низменности, показан характер и степень пространственного изменения МСШ (рисунок 1, 2).

Как видно из рисунков, микросейсмический шум имеет отличную интенсивность и спектральных характеристики в районе станций, расположенных в пределах указанных структур.

Наиболее высокий уровень шума наблюдается в районе сейсмических станций, расположенных в пределах Окско-Донской впадины (*AUB2, AUB1, VSBI*) (рисунок 1). Несмотря на то, что каждой из сейсмических станций, расположенных в этой структуре, микросейсмический шум имеет свои особенности, в целом, уровень его выше, чем в районе сейсмических станций, расположенных в Среднерусской возвышенности (*VAU7, VUSI, ABD1*) (рисунок 2).

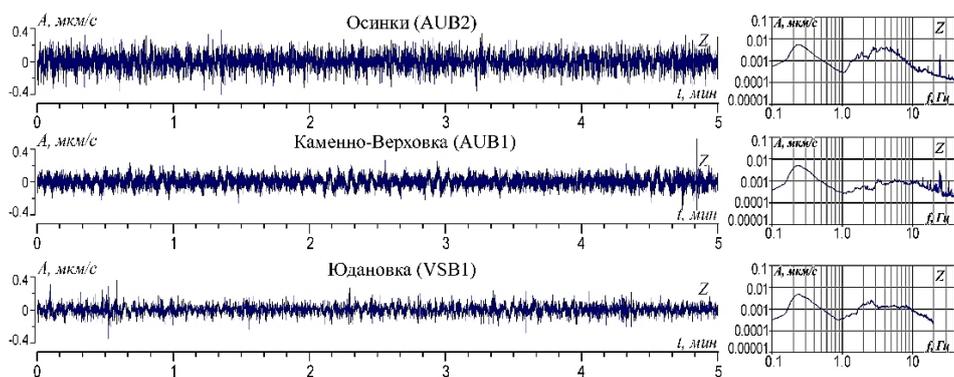


Рисунок 1 – Вертикальная составляющая (Z) микросейсмического шума и его амплитудные спектры, в районе сейсмических станций, расположенных в пределах неоген-четвертичной структуры I порядка Воронежской антеклизы – Окско-Донской впадины

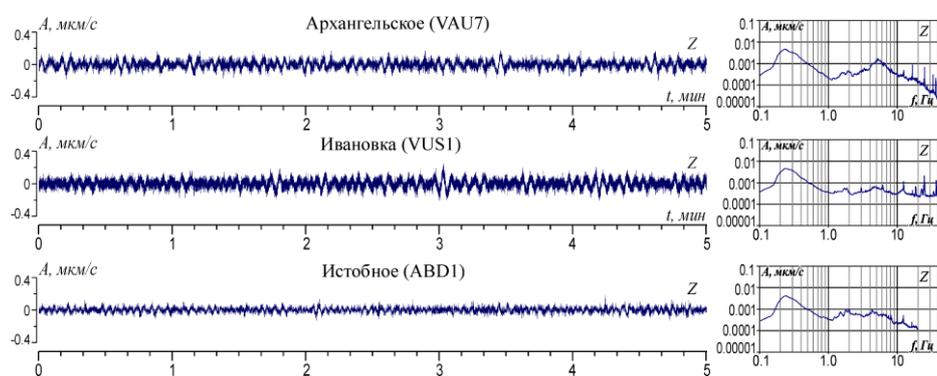


Рисунок 2 – Вертикальная составляющая (Z) микросейсмического шума и его амплитудные спектры в районе сейсмических станций, расположенных в пределах неоген-четвертичной структуры I порядка Воронежской антеклизы – Среднерусской возвышенности

Амплитудные спектры в районе сейсмических станций также отражает указанную тенденцию. Спектральные амплитуды особенно высокочастотных составляющих, значительно выше в районе сейсмических станций, расположенных в пределах Окско-Донской низменности.

Следует отметить, что описанные особенности являются устойчивыми. Анализ среднегодового уровня микросейсмического шума в районе каждой из сейсмических станций в течении многих лет (более 10 лет) показал, что изменение интенсивности его амплитуды в разные годы составляет не более 10%. Это позволяет результаты измерения МСШ в разные годы использовать для совместного анализа.

Опыт исследований свидетельствует, что интенсивность микросейсмического шума и его спектральные характеристики зависят как от геологического строения земной коры в пункте наблюдений, так и характера интенсивности антропогенной нагрузки в районе расположения сейсмических станций [2, 6].

Для микросейсмического шума характерны не только пространственное изменение интенсивности, но и значительные временные вариации.

На рисунке 3 представлен характер временных вариаций интенсивности микросейсмического шума в различных частотных диапазонах с 2016 по 2022 годы. Из рисунка видно, что наблюдается значительная, хорошо выраженная годовая периодичность. В зимнее время интенсивность МСШ в 8 – 10 раз выше, чем в летний период. Эти вариации обусловлены в основном, изменением интенсивности МСШ в диапазоне частот 0.1 – 0.4 Гц.

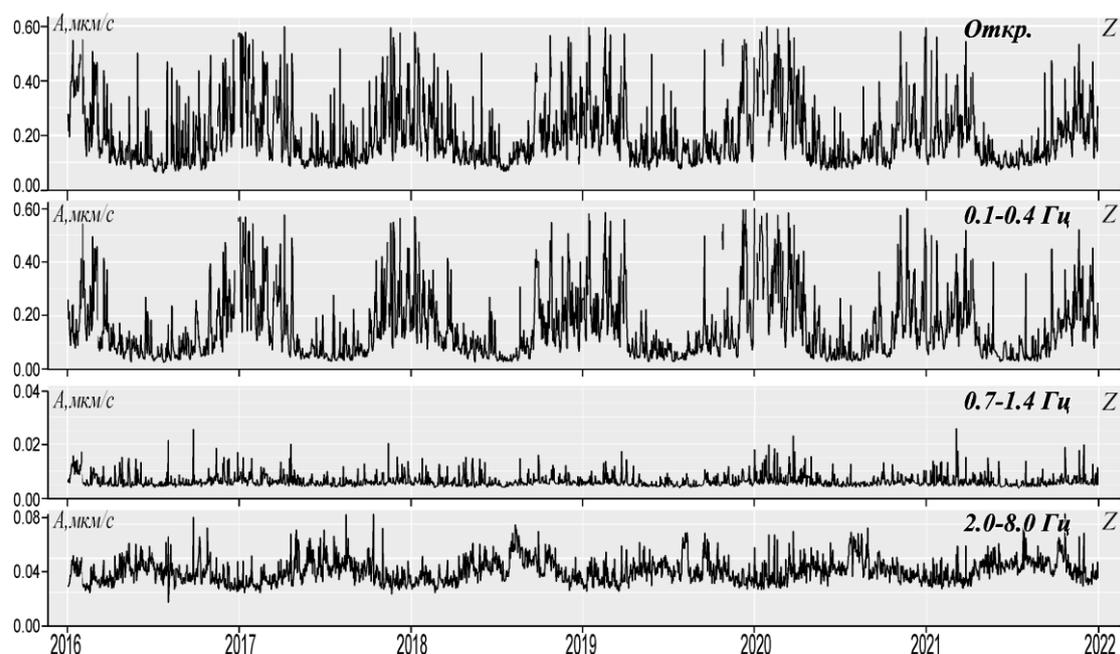


Рисунок 3 – Временные вариации вертикальной составляющей микросейсмического шума (МСШ) за 6 лет (2016-2021) месяца по данным сейсмической станции Сторожевое (VSR), расположенной в наиболее приподнятой части фундамента Воронежской антеклизы

Считается, что поле в этом диапазоне частот, обусловлено штормами в океане. В высокочастотном диапазоне (2.0 – 8.0 Гц), наоборот, в летнее время повышается (но не так значительно) уровень МСШ. Связано повышение, в значительной степени, с активизацией хозяйственной деятельности. На рисунке 4 представлены вариации интенсивности МСШ в течение одного месяца. На нем хорошо видно наличие суточных вариаций день/ночь в диапазоне частот 2.0 – 8.0 Гц.

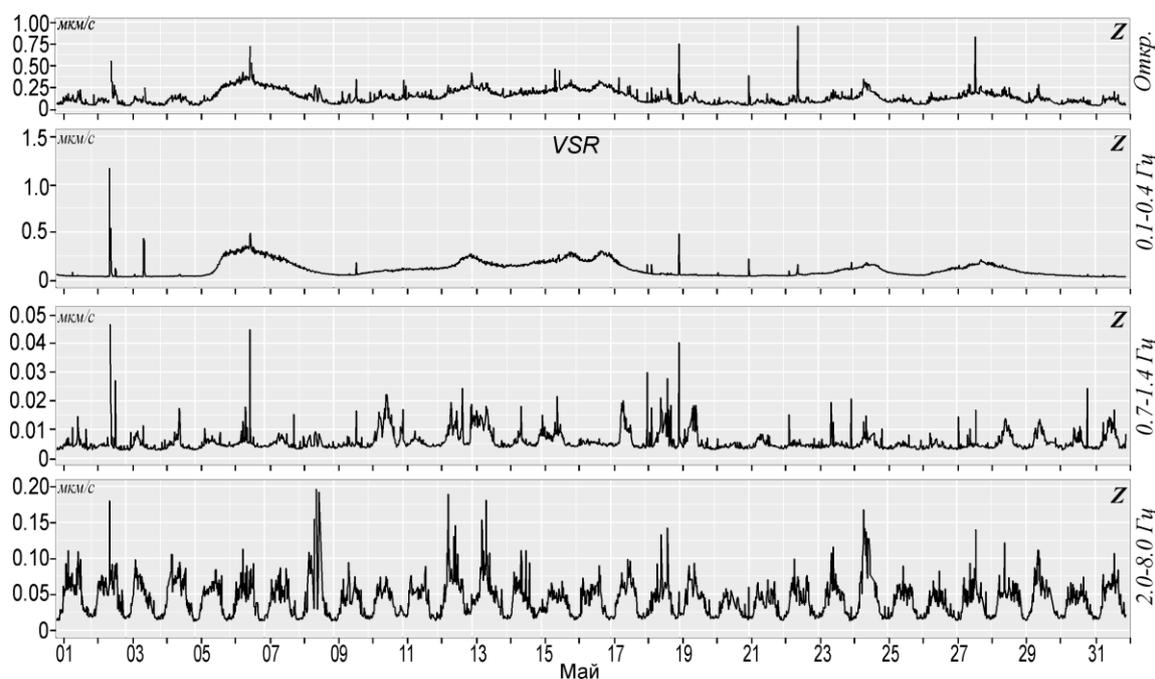


Рисунок 4 – Временные вариации вертикальной составляющей МСШ в течении 1 месяца по данным сейсмической станции Сторожевое (VSR)

В ночное время наблюдается минимальный уровень МСШ, и он фактически не изменяется в течение всего месяца. По-видимому, значительная часть микросейсмического шума в этом диапазоне частот в ночное время обусловлено эндогенными процессами в районе расположения сейсмической станции. На уровень МСШ в диапазоне частот 2.0 – 8.0 Гц в дневное время оказывает влияние хозяйственная деятельность человека и другие факторы внешнего воздействия. В некоторые сутки уровень МСШ в дневное время увеличивается по сравнению с ночными до 10 раз.

Детальный анализ уровня МСШ в течение суток показал, что в структуре наблюдаются колебания с периодом 50 – 60 минут. Эти колебания могут быть обусловлены, в том числе, и собственными колебаниями Земли (рисунок 5).

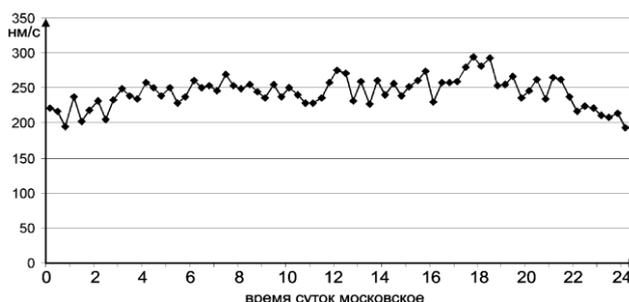
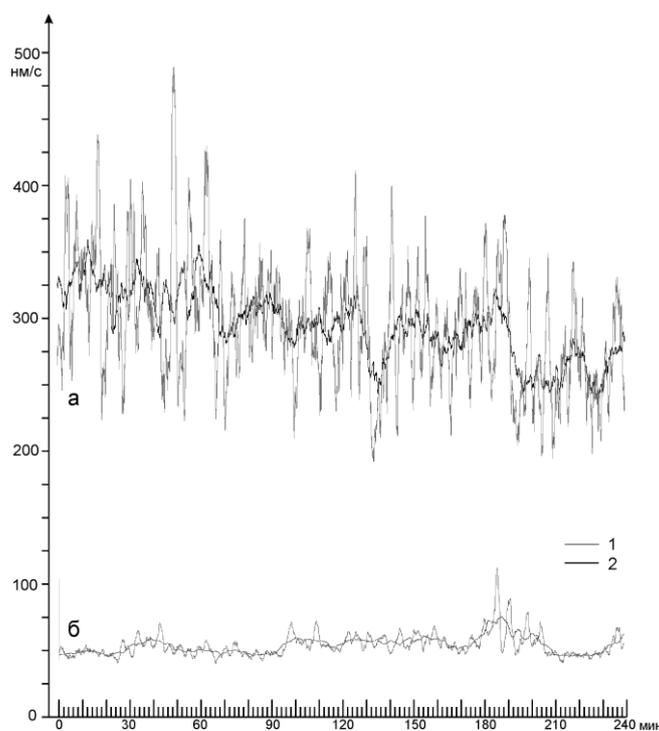


Рисунок 5 – Пример вариации уровня микросейсмического шума в течении суток

На рисунке 6 представлен пример временных вариаций МСШ в течении 3 минут. Хорошо выражены колебания с периодом 5 – 6 сек (микросейсмы, которые образуют максимум амплитудных спектров в диапазоне частот 0.1 – 0.4 Гц). Интенсивность их летом и зимой существенно разная, что и является, в основном, причиной годичной периодичности интенсивности МСШ в диапазоне частот 0.1 – 0.4 Гц.



1- минутное осреднение; 2 – пятиминутное осреднение

Рисунок 6 – Характер микросейсмического шума зимой (а) и летом (б)

Таким образом, микросейсмический шум, представляющий собой сложный волновой процесс, изменяющийся во времени и пространстве. Существование микросейсмических колебаний в любой точке поверхности Земли в широком диапазоне частот, их значительные временные вариации, могут создавать предпосылки возникновения негативных явлений, оказывающих влияние на комфортность среды обитания человека и его здоровье. Особенно важно учитывать характер МСШ и его временные вариации при развитии городских агломераций, строительстве высотных зданий.

Исследование выполнено при поддержке грантов БРФФИ № X20P-284 и РФФИ № 20-55-00010/20 «Закономерности трансформации экологических функций геосфер крупных горнопромышленных регионов».

Список литературы

1. Рыкунов, Л.Н. Микросейсмизм / Л.Н. Рыкунов. – М. : Наука, 1967. – 86 с.
2. Винник, Л.П. Структура микросейсм и некоторые вопросы методики группирования в сейсмологии / Л.П.Винник. – М. : Наука, 1968. – 104 с.
3. Надежка, Л.И. Некоторые характеристики микросейсмического поля платформенной литосферы (на примере Воронежского кристаллического массива) / Л.И. Надежка, И.Н. Сафронич, С.П. Пивоваров [и др.] // Волновые процессы в неоднородных нелинейных средах: Материалы семинаров НОЦ.- Воронеж, 2004. – С. 173–189.
4. Рыкунов, Л.Н. Сейсмические шумы в диапазоне 2-15 Гц на дне Черного моря / Л.Н. Рыкунов, В.В Седов // Изв. АН СССР. Физика Земли. – 1965. – Ю 7. – С.30–39.
5. Синева, З.И. Изучение динамических характеристик сейсмического шума по данным цифровых станций Казахской сети / З.И. Синева, Н.Н. Михайлова, И.И. Комаров // Вестник НЯЦ РК «Геофизика и проблемы нераспространения», июнь 2000. – Вып.2. – С 24–29.
6. Надежка, Л.И. Динамика микросейсмического поля платформенной литосферы (на примере Воронежского кристаллического массива) / Л.И. Надежка, И.Н. Сафронич, С.П. Пивоваров, М.А. Ефременко [и др.]. // Геодинамика и геоэкология высокогорных регионов в XXI веке. Сб. матер. междунар. симпозиума. – Бишкек, 2008. – С. 34–39.

MICROSEISMIC NOISE AND ITS TEMPORAL VARIATIONS IN THE CENTRAL PART OF THE VORONEZH CRYSTAL MASSIF

L. I. NADEZHKA^{1,2}, I. A. SIZASK¹, I. N. SAFRONICH¹,

nadezhka@geophys.vsu.ru; sizaskia@gmail.com; igor@geophys.vsu.ru

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

²*FBGEI HE Voronezh State University,
Voronezh, Russia*

Abstract. *Microseismic noise is a complex process that reflects both the geological structure, endogenous processes, and the influence of external factors on the geological environment. Spatial changes in the intensity of microseismic noise and its temporal variations are shown: from annual periodicity to fluctuations with a period of 5-6 seconds. It is concluded that it is necessary to take into account microseismic noise in the development of urban agglomerations.*

Key words. *Microseismic noise, time variations, yearly periodicity.*

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ЗАТУХАНИЯ ВОЛНОВОГО ПОЛЯ, ВОЗБУЖДАЕМОГО ВЗРЫВАМИ В КАРЬЕРЕ «ПАВЛОВСК»

Л. И. НАДЕЖКА^{1,2}, И. Н. САФРОНИЧ¹, Е. А. СЕМЕНОВ¹, М. А. ЕФРЕМЕНКО¹

*nadezhka@geophys.vsu.ru; igor@geophys.vsu.ru;
Alexander.semenow@gmail.com; 2880@mail.ru.*

¹ ФГБУН ФИЦ ЕГС РАН,
г. Воронеж, Россия

² ФБГОУ ВО Воронежский государственный университет,
г. Воронеж, Россия

Аннотация. Рассмотрен характер затухания сейсмического волнового поля, вызванного промышленным взрывом в карьере «Павловский». Показано, что в разных частотных диапазонах и на разных расстояниях от источника характер затухания волнового поля отличается. Выполнена оценка области значительного сейсмического воздействия промышленных взрывов в карьере «Павловский».

Ключевые слова: сейсмическое поле, затухания сейсмического волнового поля, области значительного сейсмического воздействия.

Сейсмическое воздействие промышленных взрывов на геологическую среду, особенно в пределах техногенно-нагруженных территорий, является одним из негативных факторов, влияющих на комфортность среды обитания человека и его здоровье [1-8]. В этой связи выделение областей максимальных воздействий, т.е. исследование характера затухания волнового поля, вызываемого промышленным взрывом чрезвычайно важно и актуально.

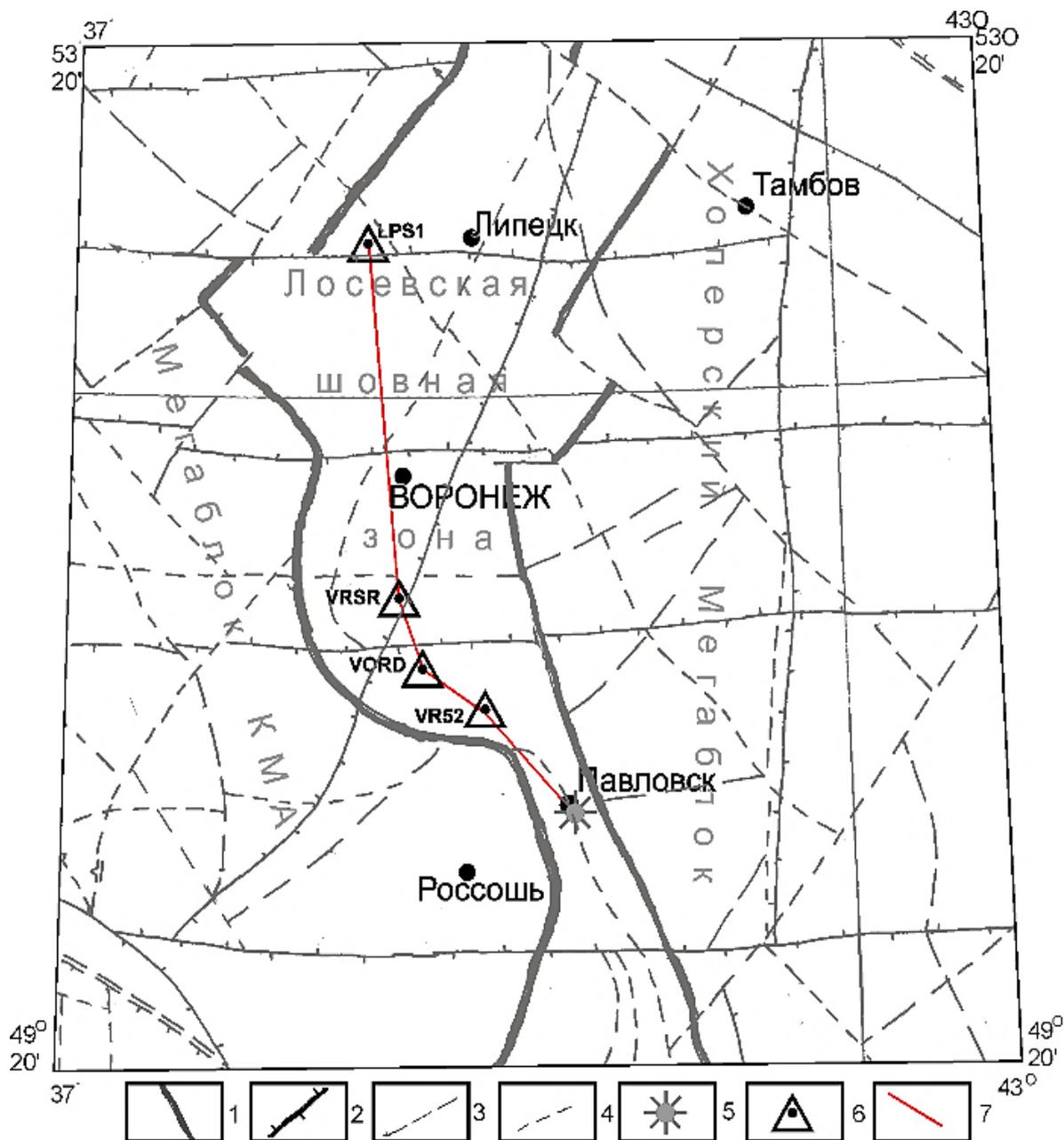
Известно, что с увеличением расстояния от источника, интервал времени сейсмического воздействия промышленного взрыва увеличивается [4,6]. При этом интенсивность воздействия значения максимальных амплитуд колебаний (*A_{max}*) и среднее значение амплитуды колебаний на интервале уменьшается, т.е. с удалением от источника сейсмическое воздействие растягивается и по амплитуде воздействия приближается к амплитуде фоновых колебаний. В этом случае сейсмическое воздействие пренебрежимо мало. Ниже, на примере волнового поля, вызываемого промышленным взрывом в карьере «Павловский» показаны результаты исследований характера затухания (поглощения) волнового поля. При выполнении экспериментов все сейсмические станции размещались в пределах одной и той же структуры – Лосевской шовной зоны Воронежского кристаллического массива, в которой и располагается карьер «Павловский» (рисунок 1).

Схематический геологический и сейсмический разрезы вдоль трассы представлены на рисунке 2.

Самая близкая сейсмическая станция, не считая станции работавшей на борту карьера, располагалась на расстоянии 59 км от эпицентра взрыва, самая далекая – на расстоянии 261 км. Записи взрыва на всех удалениях четкие, достаточно хорошо выделяются волны *Pg*, *Lg*, *Rg* (рисунок 3-4). Анализ волновых форм и амплитудно-частотных спектров показывает, что основная энергия взрыва на всех удалениях реализуется в виде высокочастотных колебаний (выше 7,0 Гц).

Кроме того, четко выделяются максимумы в низких частотах 0,5 – 0,8 Гц, который сформирован поверхностными волнами. Судя по поляризации волн, он обусловлен волнами типа Релея и является характерной особенностью записей взрывов, производимых

в Павловском карьере. Эти волны видны на записях волновых форм и хорошо выделяются на фильтрованных записях всех трех составляющих. Длительность четкого проявления волн Релея на близком расстоянии составляет 2–4 периода, на дальней – более 10 периодов [5].



- 1 - границы основных структур Воронежского кристаллического массива;
 Тектонические нарушения:
 2 - первого порядка;
 3 - второго порядка;
 4 - третьего порядка;
 5 – Павловский карьер;
 6 - сейсмические станции;
 7 – сейсмический профиль

Рисунок 1 – Схема расположения сейсмических станций

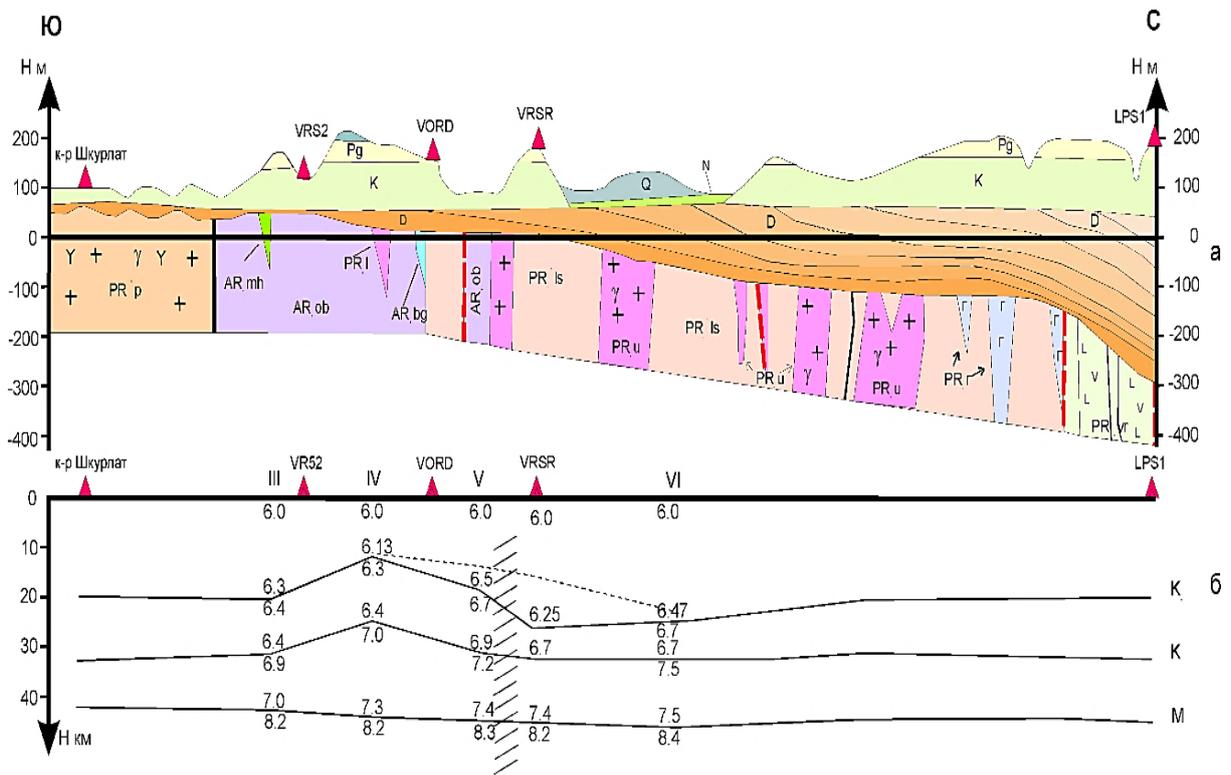


Рисунок 2 – Геологический разрез (а) и схематический глубинный разрез (б) по профилю карьер Павловский (Шкурлат) – Галичья гора

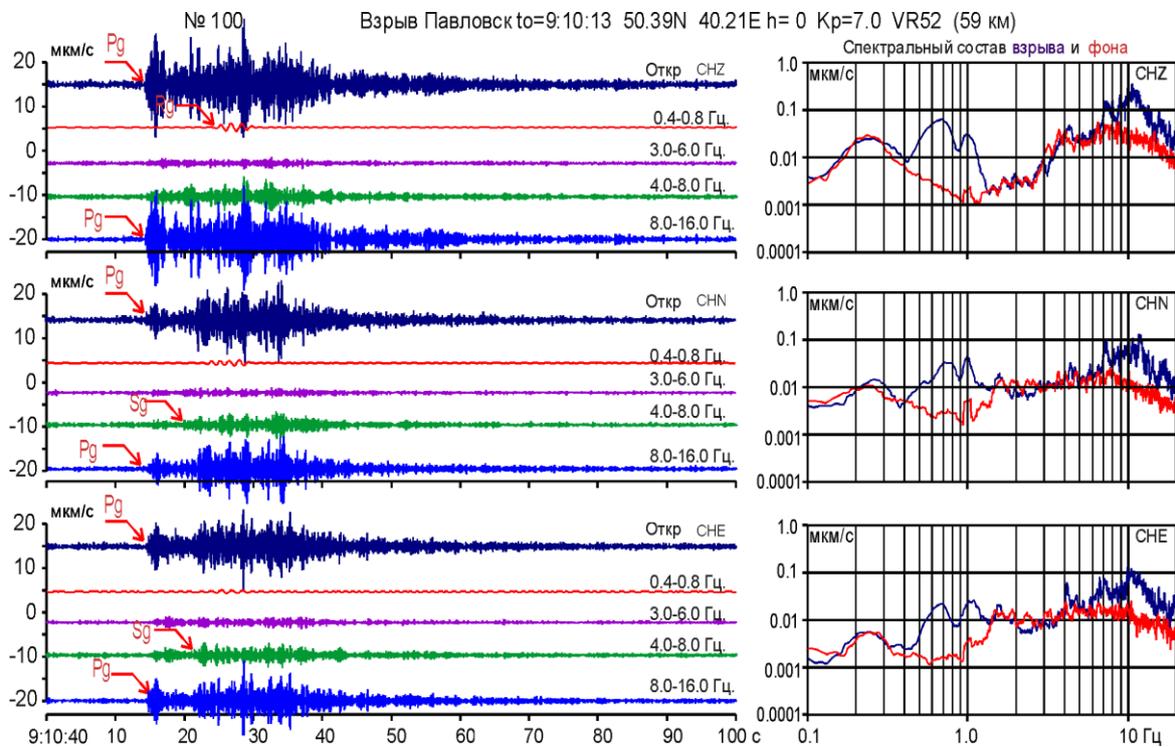


Рисунок 3 – Волновые формы и спектральный состав 3-х компонентных записей взрыва в Павловском карьере на расстоянии 59 км от пункта взрыва

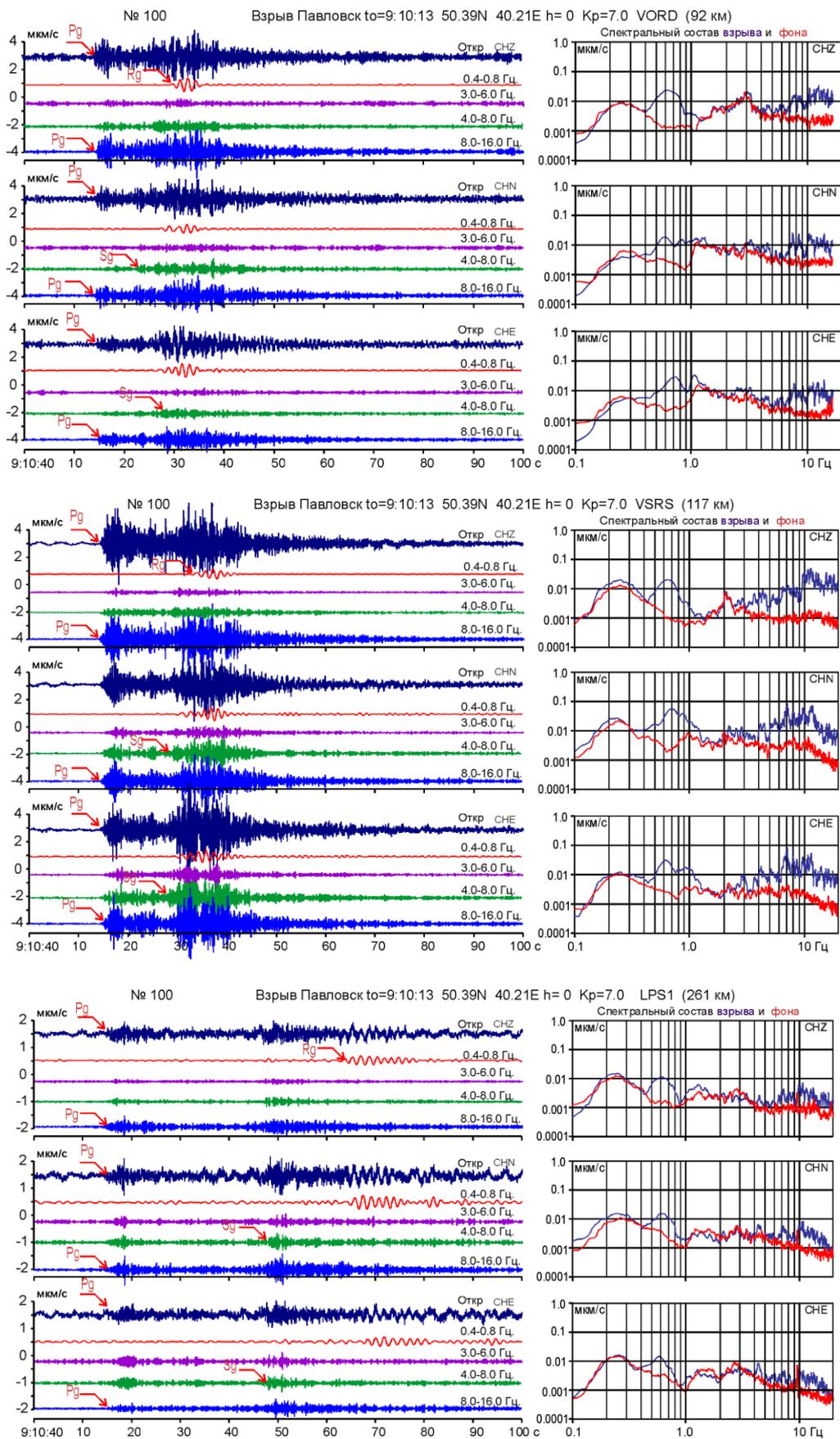


Рисунок 4 – Волновые формы и спектральный состав 3-х компонентных записей взрыва в Павловском карьере на удалениях 92, 117 и 261 км от пункта взрыва

Как видно из рисунков, с удалением от источника сейсмическое событие «растягивается», а его средняя амплитуда уменьшается. При этом наиболее сильно изменяются высокочастотные составляющие. Для количественной оценки степени затухания волнового поля вызванного взрывами, может быть использована формула:

$$A_x = A_0 e^{\frac{-\alpha(f)x}{x^n}}, \quad (1)$$

где A_0 – амплитуда волны в некоторой фиксированной точке M ; A_x – амплитуда волны на расстоянии x от точки M ; α – амплитудный коэффициент поглощения; n – показатель степени функции расхождения.

Из уравнения следует, что:

$$\alpha = \frac{\ln\left(\frac{A_0}{A_x}\right)}{x} \quad (2)$$

Величина α имеет размерность $\frac{1}{m}$.

Анализ амплитуд волновых форм в разных частотных диапазонах и спектров волнового поля рассматриваемого взрыва показал, что наиболее выраженными являются составляющие в диапазоне частот 0.6-0.7 Гц, 4.5 Гц, 6.0 Гц, 7.5 Гц и 10 Гц. Для этих частот вычислены коэффициенты поглощения (рисунки 3.20-3.23) на разных расстояниях.

На рисунке 5 представлены графики изменения коэффициента поглощения волнового поля возбуждённого промышленным взрывом в карьере «Павловский» в разных диапазонах частот и на разных расстояниях (рисунок 5б).

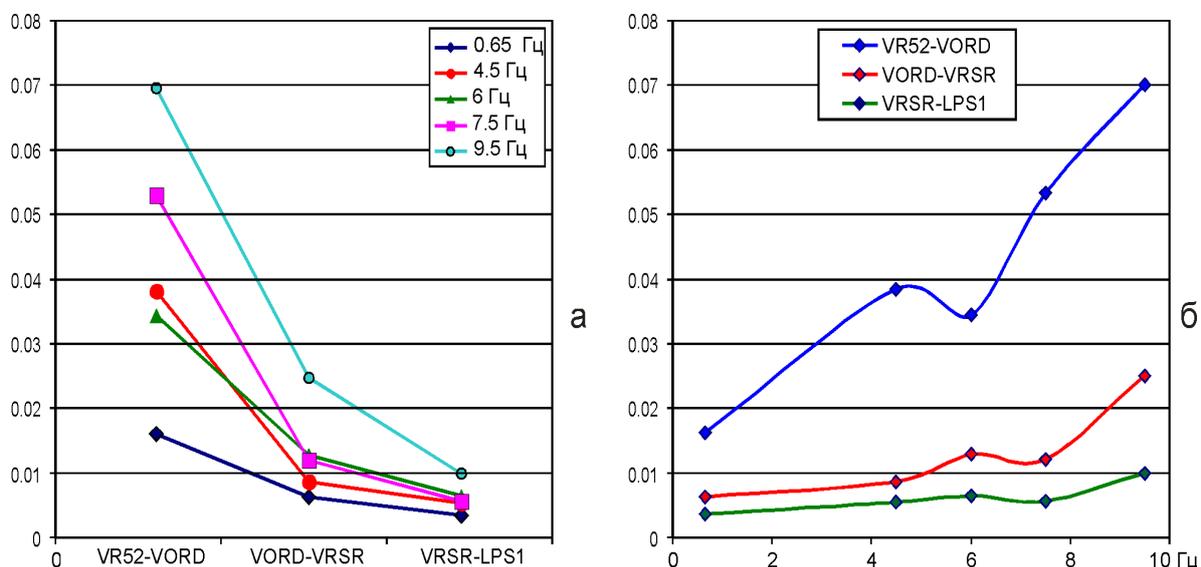


Рисунок 5 – Изменение коэффициента поглощения составляющего волнового поля в различных частотных диапазонах (а) и в зависимости от частоты (б) на различных расстояниях

Из рисунка видно, что на относительно близком расстоянии от источника (интервал расстояния между станциями VR52 (59 км) и VORD (91 км)) затухание поля взрыва разных диапазонов частот происходит редко (рисунок 7б). В диапазоне расстояний

от источника 99 км (*VORD*) – 117 км (*VSR*) и 117 км (*VSR*) – 261 км (*LPSR*) характер затухания волнового поля в диапазоне частот до 8,0 Гц отличается незначительно. И только высокочастотная составляющая поля ($f \geq 10$ Гц) затухает на более близких расстояниях существенно сильнее (рисунок 5б).

Учитывая характер затухания волнового поля, возбуждаемого взрывами в карьере «Павловский» и амплитудные спектры, можно сделать вывод, что на расстоянии порядка 117 км от источника интенсивность низкочастотных и высокочастотных колебаний превышают фоновые больше чем на порядок. Однако, на расстоянии 261 км в результате затухания (поглощения) волнового поля, интенсивность колебаний в результате промышленного взрыва незначительно увеличивается, в основном, в низкочастотном диапазоне.

Таким образом, значимый сейсмический эффект, обусловленный взрывами в карьере «Павловский», наблюдается на расстоянии примерно 130 км. Вместе с тем, следует отметить, что на характер затухания и интенсивность колебаний на разных расстояниях от источника, значительное влияние оказывают геологические условия, и физические свойства не только грунтовой толщи, но и более глубоких горизонтов земной коры. Изложенные выше результаты отражают только общие региональные особенности характера сейсмического воздействия, вызванных промышленными взрывами в карьере «Павловский».

Исследование выполнено при поддержке грантов БРФФИ № X20P-284 и РФФИ № 20-55-00010/20 «Закономерности трансформации экологических функций геосфер крупных горнопромышленных регионов».

Список литературы

1. Надежка, Л.И. Сейсмический эффект массовых химических взрывов в карьере г. Павловска / Л.И. Надежка [и др.]. // Системы жизнеобеспечения и управления в чрезвычайных ситуациях. Межвуз. сб. науч. тр. Воронеж, Гос. тех. ун-т. – 2004. – С. 99–105.
2. Надежка, Л.И. Сейсмические эффекты крупномасштабных взрывов в Воронежском регионе и их геоэкологические следствия / Л.И. Надежка [и др.]. // Месторождения природного и техногенного минерального сырья: геология, геохимия, геохимические и геофизические методы поисков, экологическая геология. – Сб. – ВГУ, Воронеж, 2008. – С. 326–329.
3. Пивоваров, С.П. Техногенная сейсмичность территории Воронежского кристаллического массива / С.П. Пивоваров [и др.]. // Проблемы сейсмологии в Узбекистане. – Ташкент, 2010. – № 7. – Т. II. – С. 59–63.
4. Семенов, А.Е. Основные особенности волновых полей промышленных взрывов в крупных карьерах на территории ВКМ / А.Е. Семенов [и др.]. // Двенадцатая уральская молодежная научная школа по геофизике: сб. науч. материалов. – Пермь, 2011. – С. 224–229.
5. Надежка, Л.И. Оценка поглощающих свойств геологической среды в пределах Лосевской шовной зоны Воронежского кристаллического массива / Л.И. Надежка [и др.]. // Активные разломы и их значение для оценки сейсмической опасности: современное состояние проблемы. Материалы XIX научно-практической конференции с международным участием. – Воронеж, 2014. – С. 264–268.
6. Семёнов, А.Е. Характер и интенсивность сейсмических воздействий горнопромышленных комплексов на литосферу Воронежского кристаллического массива / А.Е. Семенов [и др.]. // Структура, вещественный состав, свойства, современная геодинамика и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов Материалы XXII Всероссийской с международным участием научно-практической Щукинской конференции. – Воронеж, 22–25 сентября 2020 г. – С. 317–321.

7. Косинова, И.И. Критерий экологических оценок сейсмических воздействий, возникающих при производстве промышленных взрывов / И.И. Косинова [и др.]. // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2021. – №1. – С. 82–93. doi: 10.17308/geology.2021.1/3340.

8. Косинова, И.И. Анализ пространственных закономерностей воздействий промышленных взрывов на эколого-геологические системы горнодобывающих районов / И.И. Косинова [и др.]. // Региональные геосистемы. – 2021. – Т. 45. – № 3. – С. 393–413. – DOI 10.52575/2712-7443-2021-45-3-393-413.

INVESTIGATION OF THE NATURE OF ATTENUATION OF THE WAVE FIELD EXCITED BY EXPLOSIONS IN THE PAVLOVSK QUARRY

L. I. NADEZHKA^{1,2}, I. N. SAFRONICH¹, E. A. SEMENOV¹, M. A. EFREMENKO¹

*nadezhka@geophys.vsu.ru; igor@geophys.vsu.ru;
alexander.semenow@gmail.com; 2880@mail.ru.*

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

²*FBGEI HE Voronezh State University,
Voronezh, Russia*

Annotation. *The nature of the attenuation of the seismic wave field caused by an industrial explosion in the Pavlovsky quarry is considered. It is shown that the attenuation pattern of the wave field differs in different frequency ranges and at different distances from the source. The assessment of the area of significant seismic impact of industrial explosions in the Pavlovsky quarry was carried out.*

Key words: *seismic field, attenuation of the seismic wave field, areas of significant seismic impact.*

УДК 55.553.07.-504.05/.06

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ РАЙОНОВ ПО ДОБЫЧЕ И ПЕРЕРАБОТКЕ РУД ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

В. А. БУДАРИНА¹, И. И. КОСИНОВА¹, А. Г. АРОНОВ², Г. А. АРОНОВ², В. Л. МОЛЯРЕНКО³

kosinova777@yandex.ru

¹*ФБГОУ ВО Воронежский государственный университет,
г. Воронеж, Россия,*

aronovg@tut.by

²*Центр геофизического мониторинга Национальной академии наук Беларуси,
г. Минск, Беларусь,*

molyarenko-vova@bk.ru

³*Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины,
г. Гомель, Беларусь*

Аннотация. *Выполнена оценка экологических аспектов, формирующихся при возможной отработке Елань-Елкинского сульфидного месторождения медно-никелевых руд, расположенного в пределах Новохоперского мегаблока Воронежского кристаллического*

массива (ВКМ). Выстроен жизненный цикл продукции, включающий уровни разведки, добычи, переработки и транспортировки сырья. Представлены общие закономерности распределения тяжелых металлов к продуктивным горным породам и породах вскрышной толщи. Обозначено наличие, помимо главных рудообразующих элементов (*Ni*, *Cu* и *Co*), значительной доли попутных токсических (*As*, *Sb*, *Bi* и *Pb*) компонентов.

Ключевые слова: экологический, аспект, горная, промышленность, переработка, жизненный цикл, руды, цветные металлы.

Эколого-геологические исследования, проведенные нами в пределах крупных горнодобывающих районов центральной части России, базировались на проведенной типологической классификации. В качестве основного критерия данной классификации использован анализ качества и вещественного состава добываемого сырья. В пределах шести исследованных районов в группе рудных горнодобывающих районов выделены железорудные, в пределах нерудных – широкий спектр карбонатных, песчаных, торфяных, суглинисто-глинистых горнодобывающих районов. В целом Центрально-черноземный экономический район включает 5 областей, имеет общую площадь 167,7. тыс. км², средняя плотность населения составляет 47 чел/км².

В рамках проведенных исследований рассмотрены экологические аспекты возможной разработки Елань-Елкинское месторождения сульфидных медно-никелиевых руд. Проект разработки данного месторождения должен базироваться на комплексе эффективных способов и методов развития Воронежского горнопромышленного района для обеспечения его экологической безопасности и благоприятной среды жизнедеятельности.

В 60-70-ых годах XX века в недрах Воронежского кристаллического массива (ВКР) было выявлено 5 месторождений и около 50 рудопроявлений разномасштабных по ресурсам. Ранее они рассматривались как резервная минерально-сырьевая база цветных и благородных металлов.

По предварительным оценкам ресурсов и запасов, Воронежская область является одной из крупнейших в Европе, а также третьей в России после Норильского и Кольского регионов. В целом перечисленные месторождения образуют минерально-сырьевую базу стратегически необходимых цветных металлов Российской Федерации. Поэтому Еланское и Ёлкинское месторождения являются объектами прогнозного освоения, где на долю богатых руд (содержание никеля более 2 %) приходится 60 % запасов и ресурсов.

Общие запасы и ресурсы по всем категориям составляют: никель – 1,172 млн т; медь – 134 тыс. т; кобальт – 28,2 тыс. т; содержание благородных металлов (платина, палладий, серебро) оцениваются в первых десятках тонн. На долю серебра приходится около 500 т. Руды характеризуются высоким извлечением никеля (до 94 %), меди (более 80 %) и других металлов. Специфичен состав руд, для которых характерно наличие помимо главных рудообразующих элементов (*Ni*, *Cu* и *Co*) значительной доли попутных полезных и вредных (*As*, *Sb*, *Bi* и *Pb*) компонентов [1].

Основная проблема данного горнодобывающего объекта заключается в размещении месторождения в пределах плотно заселенного Новохоперского района, отличающегося сложными гидрогеологическими условиями. Помимо этого, в пределах района размещаются особо охраняемые природные территории федерального уровня. Разработка такого типа месторождений нераздельно связана с многочисленными экологическими рисками. Начиная с 2012 по 2020 год активно рассматривался вопрос возможной разработки данного месторождения. Процесс рассмотрения сопровождался значительными протестными акциями населения Воронежской области, а также сопредельных областей.

Данное обстоятельство было результатом отсутствия прозрачности в эколого-геологических оценках и прогнозах влияния разработки месторождения на компоненты окружающей среды.

В этой связи произведена оценка экологических аспектов, формирующихся при возможной отработке Елань-Елкинского сульфидного месторождения медно-никелевых руд и разработан комплекс рекомендаций для обеспечения комфортности среды обитания в зоне его воздействия. В настоящее время в мировой практике разработан широкий спектр зеленых технологий, сопровождающих любой вид практически-хозяйственной деятельности человек.

Однако, применение данных технологий значительно повышает себестоимость продукции и, нередко, делает ее не конкурентноспособной. Целевое назначение добычи и переработки полезных ископаемых производится для повышения комфортности жизнедеятельности. Последняя не может отдельно существовать вне комфортности среды обитания. Данное противоречие должно быть осмысленно и при принятии решения о деятельности в рамках любого горнопромышленного района.

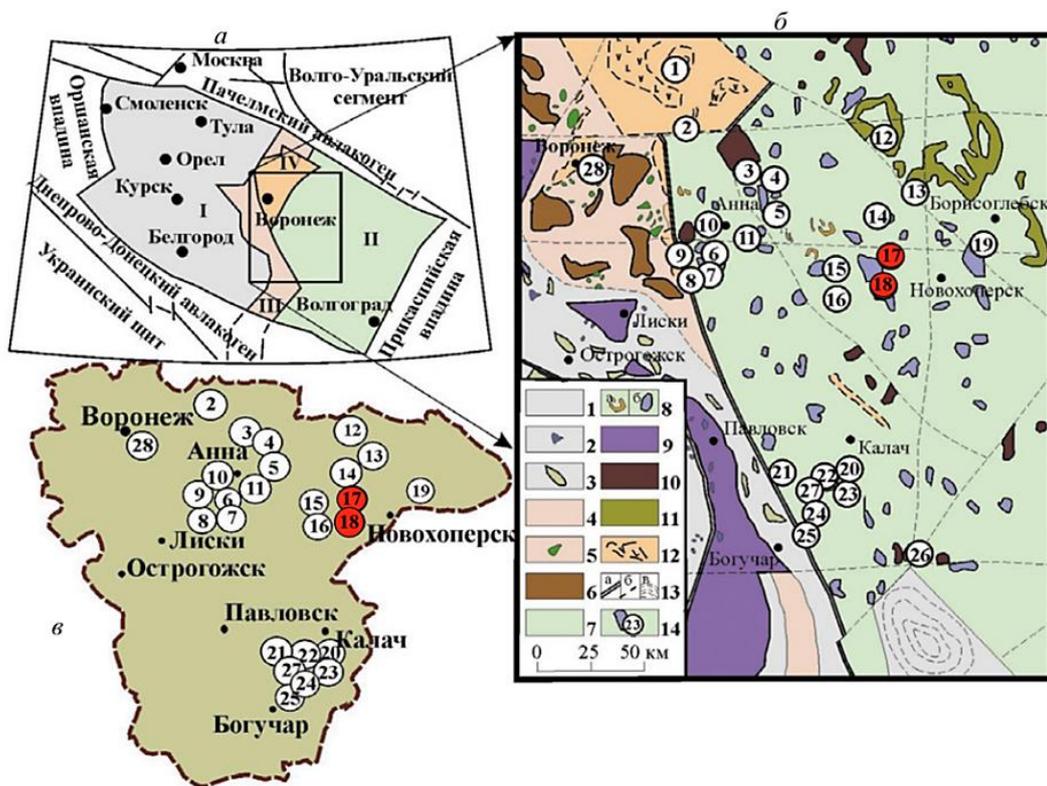
Основу работы составили комплексные эколого-геологические исследования проведенные в рамках международного гранта РФФИ № 20-55-00010/20 и БРФФИ № X20P-284 «Закономерности трансформации экологических функций геосфер крупных горнопромышленных регионов» в период 2020-2022 гг. Проанализирован химический состав проб керна с различных глубинных интервалов скважин Еланского месторождения, также использовались материалы документаций скважин, в том числе химические анализы пород полезной толщи и вскрыши.

Хопёрский мегаблок (375 x 475 км), на котором расположено Еланское месторождение, является частью Воронежского кристаллического массива (ВКМ) (рисунок 1).

Жизненный цикл разработки месторождения представляет собой чередование следующих этапов (рисунок 2): геоло-горазведочных и эксплуатационных работ, транспортировка вскрышной породы и руды на поверхность, измельчение руды, первичное а именно проходка шахт, отработка месторождения, обогащение, транспортировка полученного флотационного концентрата к дальнейшему месту металлургической обработки и различные ликвидационные работы.

Сульфидный концентрат флотационного способа обогащения будет являться товарной продукцией будущего производства. Дальнейшая переработка и обогащение недопустимы в пределах территории Воронежской области по многим причинам и самое главное по экологической. Готовую продукцию (медно-никелевый концентрат) предполагается железнодорожным транспортом отправлять на комбинат в город Кировоград в Свердловскую область на дальнейшее обогащение.

Согласно мировой практике, экологические риски любой практически-хозяйственной деятельности оцениваются методом идентификации экологических аспектов. Экологический аспект – элемент деятельности организации, её услуг или продукции, который может взаимодействовать с окружающей средой. Основой выделения экологических аспектов является жизненный цикл продукции, включающий все этапы ее существования. Весомым экологическим аспектом считается аспект, который оказывает или способен оказать существенное воздействие на окружающую среду. Нами проведена прогнозная оценка экологических аспектов разработки и частичного обогащения сульфидных медно-никелевых руд Еланского месторождения [2].



- а) I – мегаблок КМА, II – Хоперский мегаблок, III – Лосевская шовная зона, IV – Ольховско-Шукавская грабенсинклинали;
- б) 1 – AR_{1ob} – обоянский гранулит-мигматит-гнейсовый комплекс;
 2 – AR_{2bg} – белогорьевский комплекс базит-гипербазитов;
 3 – AR_{2th} – Михайловская осадочно-вулканогенная (коматиит-базальтовая и базит-риодацитовая) серия;
 4 – AR-K_{1ls} – лосевская базальт-риолитовая серия;
 5 – K_{1r} – габброиды рождественского комплекса;
 б) K_{1us} – усманский комплекс тоналит-плагиогранитов;
 7 – K_{1vc} – воронцовская углеродисто-терригенно-сланцевая серия;
 8 – трахибазальтовая (K_{2rp} панинская толща), сиенитовая и щелочно-сиенитовая (K_{2ar} – артюшковский комплекс) формации; K_{1e}, K_{1m} – еланский и мамонский комплексы базит-гипербазитов;
 9 – K_{1p} – мигматит-гранит-граносиениты павловского комплекса;
 10 – субщелочные граниты бобровского комплекса;
 11 – K_{2n} – траппы новогольского комплекса; 12 – вулканогенно-осадочная формация (K_{1vr} – воронежская свита); верлит-габбровая (K_{1sk} – шукавский комплекс) и габбронорит-кварцмонцит – гранитная формации (K_{1ol} – ольховский комплекс);
 13 – А) региональные глубинные разломы, Б) разрывные нарушения,
 в) купольные структуры;
 14 – месторождения, рудопроявления и потенциально перспективные участки;
 17 – Еланский; 18 – Елkinский и другие месторождения

Рисунок 1 – Схема структурно-формационного районирования Воронежского кристаллического массива ВКМ (а) и размещение сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений и рудо-проявлений мамонского и еланского типов на прогнозно-минералогической карте платинометалльного и золото-платинометалльного оруденения докембрия ВКМ в рамках Хоперского мегаблока (б) и Воронежской области (в)

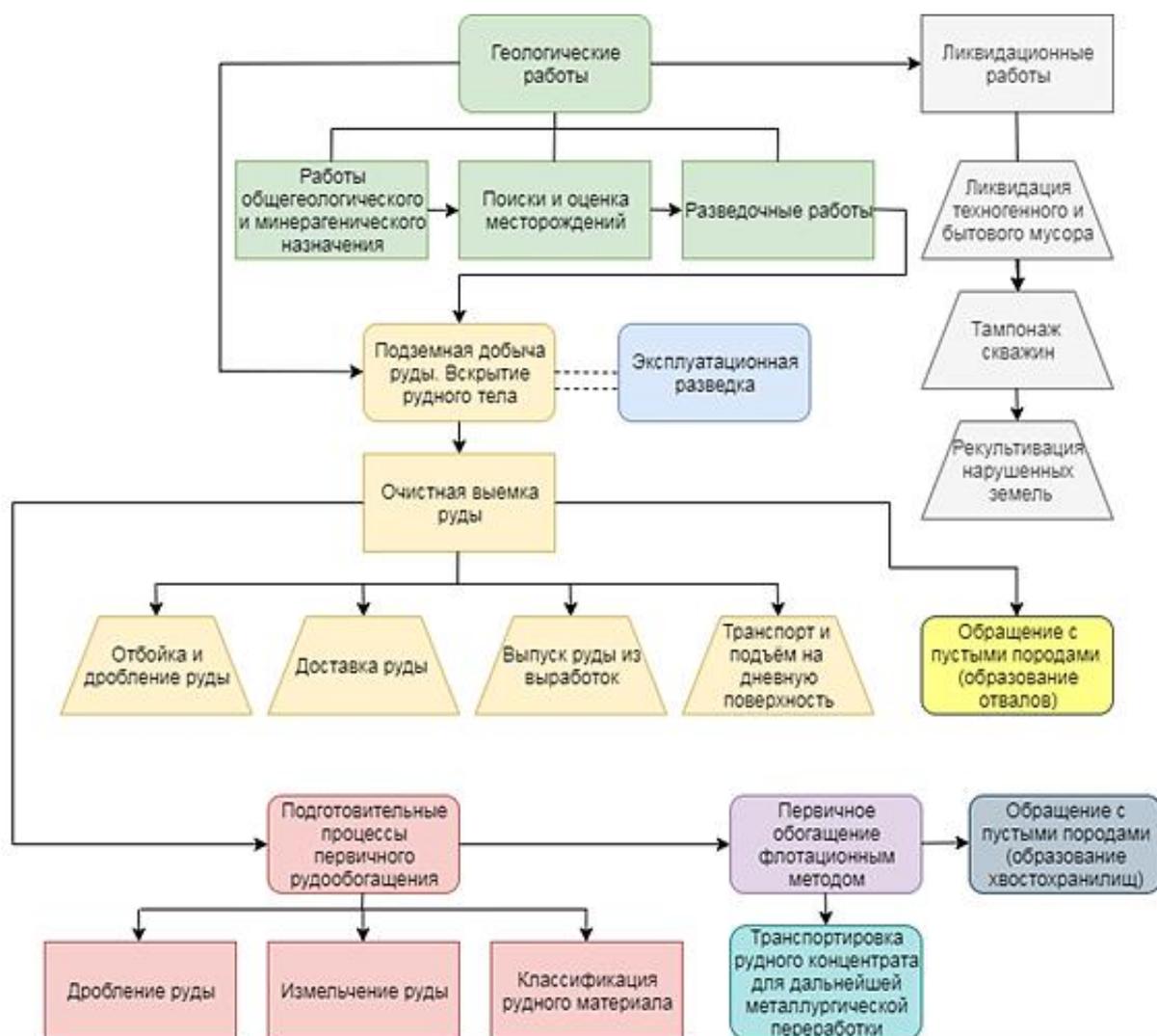


Рисунок 2 – Схема жизненного цикла разработки Еланского горнодобывающего района

Все экологические аспекты геологоразведочных работ систематизированы в виде таблицы 1.

Показателен сам факт наличия очень высоких концентраций приведённых компонентов, часть которых при строительстве горных выработок попадёт в отвалы, откуда данные химические элементы начнут поступать в компоненты окружающей среды, создавая комплекс соответствующих экологических аспектов.

Экологические аспекты пылевыведений промплощадок шахт возможно разделить на две группы по интенсивности пылевыведений в окружающую среду:

1. От источников с предварительно очищенным от запылённости воздухом.
2. От неорганизованных источников пылевыведений без очистки.

Первая группа будет включать в себя: конвейерный тракт подачи руды в надштабельную галерею склада и дробильно-сортировочный комплекс. Следует выполнять все технологические мероприятия в закрытых от ветра помещениях, а также основные места пылевыведений изолировать аспирационными установками с фильтровой очисткой аспирационного воздуха.

Соответственно, вторая группа включает в себя: склады руды открытого типа, где обычно все процессы выполняются с активным пылевыведением в окружающую среду.

Экологические аспекты техногенных вод горных предприятий по месту и процессам образования связаны со следующими их типами:

- 1) технологические сточные воды горного пердела – рудничный (шахтный) водоотлив и воды дренажа;
- 2) подотвальные воды – формируемые в основании отвалов пустой породы и забалансовых руд, отвалов флотационного обогащения отходов и с площадок складирования сырья;
- 3) воды, образуемые атмосферными осадками – дождевые (ливневые) и талые воды от таяния снега с промплощадок.

Таблица 1 – Экологические аспекты геологоразведочных работ

Этапы геологоразведочных работ	Стадии геологоразведочных работ	Экологические аспекты
1. Региональное геологическое изучение недр и прогнозирование полезных ископаемых.	Отсутствуют	Экологические аспекты отсутствуют, так как отсутствует негативное воздействие на природную среду
2. Поиски месторождения	Поисковые работы	<ul style="list-style-type: none"> – загрязнение (запыление и газозовывание) атмосферы; – деформация земной поверхности; нарушение почвенного покрова; – сокращение площади продуктивных угодий различного назначения; – ухудшение качества почв; – ухудшение условий обитания растительности и животного мира
Оценка месторождения	Оценочные работы	<ul style="list-style-type: none"> – механическое нарушение ландшафта и почвы; – буровые работы и проходка горный выработок; – образование производственных и бытовых отходов – ухудшение условий обитания растительности и животного мира
3. Разведочные работы	Отсутствуют	<ul style="list-style-type: none"> – механическое нарушение ландшафта и почвы; – загрязнение (запыление и газозовывание) атмосферы; – буровые работы и проходка горный выработок; – буровзрывные работы; – вырубка леса; – образование производственных и бытовых отходов.

Экологические аспекты руд и пород вскрыши продемонстрированы на примере схемы геохимических разрезов распределения коэффициентов концентраций тяжёлых металлов и других рудных компонентов по глубине скважин, расположенных в пределах горнодобывающего района (рисунок 3).

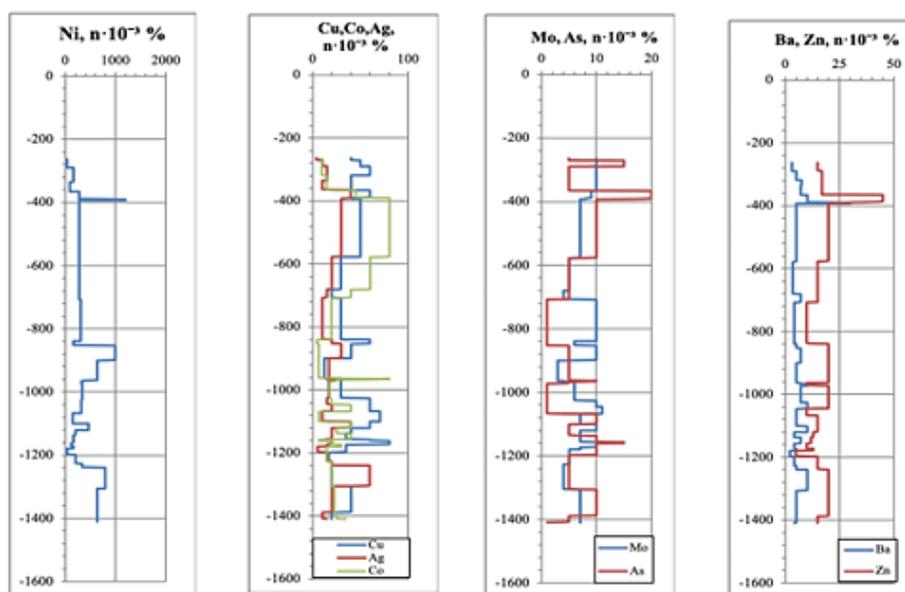


Рисунок 3 – Общие закономерности распределения тяжелых металлов по исследуемым скважинам

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Горнопромышленные районы по добыче и переработке цветных металлов характеризуются широким спектром формируемых экологических аспектов, связанных с глубиной залегания полезной толщи, значительным количеством водоносных горизонтов во вскрышной толще, необходимостью размещения значительного количества отходов как подземным, так и наземным способом и др.

2. В настоящее время в пределах центральной части России рассматриваются возможности формирования новых горнопромышленных комплексов по добыче и переработке цветных металлов. Рассматриваемый Елань-Елкинский горнопромышленный район при возможной разработке обременен двумя обстоятельствами:

- существующей высокой агропромышленной и промышленной освоенностью территории;
- значительной плотностью населения, показатели которой изменяются от 30 до 60 чел/км².

3. Обеспечение комфортности среды обитания при формировании новых ГПР базируется на выстраивании жизненного цикла продукции и выделения соответствующих экологических аспектов. Для рассматриваемого объекта выделены экологические аспекты, соответствующей разработке Еланского месторождения сульфидных медно-никелевых руд: проведения геологоразведочных работ; пород руд и вскрышной толщ; связанные с самоизливами рассолов; производства бурового шлама; пылегазовыделения при подземной разработке месторождений; шумового и вибрационного воздействий при горных работах; техногенных вод; ликвидации горнодобывающего предприятия. Разработана систематизация укрупненных значимых экологических аспектов процесса разработки.

Исследование выполнено при поддержке грантов БРФФИ № X20P-284 и РФФИ № 20-55-00010/20 «Закономерности трансформации экологических функций геосфер крупных горнопромышленных регионов».

Список литературы

1. Чернышов, Н.М. Сульфидные платиноидно-медно-кобальт-никелевые месторождения Новохопёрского рудного района и проблемы их комплексного освоения

в условиях жёстких экологических ограничений и сохранения уникальной экосистемы / Н.М. Чернышов // Вестник ВГУ. Сер. Геология. – 2013. – № 2. – С. 95–105.

2. Бударина, В.А. Экологические аспекты горнодобывающей и перерабатывающей деятельности при разработке Еланского месторождения сульфидных медно-никелевых руд. Монография / В.А. Бударина, И.И. Косинова, Ю.А. Капустина. – М. : Научная книга, 2022. – 141 с.

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF MINING AREAS FOR THE EXTRACTION AND PROCESSING OF NON-FERROUS METAL ORES

V. A. BUDARINA¹, I. I. KOSINOVA¹, A. G. ARONOV², G. A. ARONOV²,
V. L. MOLYARENKO³

kosinova777@yandex.ru

¹*FBGEI HE Voronezh State University,
Voronezh, Russia,
aronovg@tut.by*

²*Centre of Geophysical Monitoring of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Republic of Belarus,
molyarenko-vova@bk.ru*

³*Gomel State University named after F. Skorina,
Gomel, Belarus*

Annotation. *An assessment of the environmental aspects formed during the possible development of the Yelan-Elkin sulfide deposit of copper-nickel ores, located within the Novokhopersky megablock of the Voronezh crystalline array VKM, was made. The life cycle of products is built, including the levels of exploration, production, processing and transportation of raw materials. The general regularities of the distribution of heavy metals to productive rocks and overburden rocks are presented. The presence, in addition to the main ore-forming elements (Ni, Cu and Co), of a significant proportion of associated toxic (As, Sb, Bi and Pb) components is indicated.*

Key words: *ecological, aspect, mining, industry, processing, life cycle, ores, non-ferrous metals.*

УДК 574.4+551.583+504.064.37

NDVI КАК ИНДИКАТОР АНТРОПОГЕННОЙ ДИНАМИКИ ЛОКАЛЬНЫХ ГЕОСИСТЕМ

А. П. ГУСЕВ, В. Г. КРУПЯНКО

andi_gusev@mail.ru

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

Аннотация. *Цель работы – изучение изменений NDVI как индикаторов антропогенных процессов в локальных геосистемах. Задачи исследований: 1) изучение временных трендов климатических показателей и NDVI локальных геосистем в 2000 – 2020 гг. 2) выяснение закономерностей изменений NDVI в различных геосистемах (лесных ненарушенных и нарушенных, болотных, пахотных, постпахотных, техногенных); 3) оценка связи*

NDVI с показателями растительного покрова и климатическими характеристиками. Изучены особенности динамики растительного покрова в техногенных геосистемах.

Ключевые слова: динамика, индикаторы, геосистемы, техногенные, NDVI, тренд, Беларусь.

Важную роль в изучении антропогенных изменений геосистем играет дистанционное зондирование Земли. Колебания климата, экзогенные геологические процессы, техногенное преобразование рельефа, землепользование приводят к изменениям спектрально-отражательных свойств земной поверхности. Для картографирования и мониторинга этих процессов широко используются спектральные индексы, представляющие собой показатели, которые рассчитываются в результате математических операций с разными спектральными каналами. Наиболее широко используемый для решения широкого круга задач спектральный индекс – *NDVI* (*Normalized Difference Vegetation Index*), который рассчитывается по данным многозональной космической съемки по формуле: $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$, где *NIR* – значения отражения в ближней инфракрасной области спектра; *RED* – отражение в красной области спектра [1]. Во многочисленных исследованиях установлена корреляция *NDVI* с первичной чистой и валовой продукцией, зеленой фитомассой [1, 2], что позволяет использовать этот индекс как индикатор продуктивности и устойчивости геосистем.

Цель работы – изучение изменений *NDVI* как индикаторы антропогенных процессов в локальных геосистемах. В ходе выполнения решались следующие задачи: 1) изучение временных трендов климатических показателей и *NDVI* локальных геосистем в 2000-2020 гг. 2) выяснение закономерностей изменений *NDVI* в различных геосистемах (лесных ненарушенных и нарушенных, болотных, пахотных, постпахотных, техногенных); 3) оценка связи *NDVI* с показателями растительного покрова и климатическими характеристиками.

Исследования выполнялись на юго-востоке Беларуси, который по ландшафтному районированию относится к восточной части Полесской провинции. Природные геосистемы представлены сосновыми, березовыми, осиновыми, черноольховыми, широколиственными и смешанными лесами, верховыми, переходными и низинными болотами. Значительная часть территории (более 50%) занимают антропогенные геосистемы (пашни, пастбища и сенокосы, водохранилища, застроенные и нарушенные земли).

Объектами исследований являлись:

- лесные (ненарушенные) геосистемы – сосновые, смешанные, мелколиственные и широколиственные леса (54 тестовых участка, общей площадью 134,6 км²);
- лесные (нарушенные) геосистемы (санитарные и другие рубки, пожары, рекреация, воздействие выбросов, деградация древостоя при техногенном подтоплении (7 участков, 3,73 км²).
- болотные геосистемы (ненарушенные) – низинные и верховые болота (7 тестовых участков, 510 км²);
- пахотные геосистемы – пахотные земли (104 тестовых участка, 932,4 км²).
- постпахотные геосистемы, в которых происходили либо восстановительные сукцессии после выведения их из оборота, либо, наоборот, застройка и связанные с ней техногенные преобразования (4 участка, 9,82 км²);
- техногенные геосистемы – 4 гидротехнических системы (водохранилища), 4 карьера по добыче строительных материалов, 3 массива намывных грунтов с городской застройкой (11 участков, 189,1 км²).

Для уточнения состояния растительного покрова тестовых участков использованы результаты космической съемки спутников *Landsat 4-5 TM* (2000-2010 гг.) и *Sentinel-2 MSI* (2017 – 2020 гг.).

Изучаемый временной интервал – 2000 – 2020 гг. Значения *NDVI* были взяты из *MOD13Q1* (обработанные результаты съемки сенсора *MODIS* спутника *Terra*), который представляет собой растр максимальных значений *NDVI* за 16 суток. Пространственное разрешение 250 м. Для устранения влияния сезонных колебаний *NDVI* для анализа использовали только летние композиты.

Обработка и дешифрирование космических снимков *Landsat 4-5* и *Sentinel-2*, создание векторного слоя тестовых участков, зональная статистика по композитам *MOD13Q1* выполняли в геоинформационной системе *QGIS 3.14*.

Климатические показатели (средняя температура лета, летнее количество осадков, средняя температура года, годовое количество осадков) определяли на основе данных по 6 метеостанциям, расположенным в пределах региона.

Изучение динамики климатических показателей и *NDVI* проводили с помощью статистических методов. Для оценки точности подбора уравнения тренда использовали коэффициент детерминации (R^2). Статистическую значимость коэффициента детерминации и уравнения тренда оценивали с помощью критерия Фишера. Для оценки связи между изменениями *NDVI* и климатическими показателями использованы непараметрический корреляционный анализ (рассчитывался коэффициент ранговой корреляции Спирмена) и метод множественной регрессии. Для статистического анализа применяли программу *STATISTICA 6.0*.

Изучение изменений *NDVI* в геосистемах региона в период 2000 – 2020 гг. показало следующее. Средние по региону летние *NDVI* лесных геосистем колебались в пределах 0,774 – 0,822. Эти изменения характеризуются статистически значимым линейным трендом – увеличение *NDVI* на 0,0015 в год (при $R^2=0,43$). В болотных геосистемах средние значения *NDVI* изменялись в интервале 0,603 – 0,733. Здесь также наблюдался статистически значимый положительный тренд (коэффициент тренда – 0,0031 в год, $R^2=0,38$). В пахотных геосистемах средние значения *NDVI* для региона в целом изменялись от 0,596 до 0,688, при этом статистически значимый тренд отсутствовал, что объясняется зависимостью продуктивности данного типа геосистем от значительного числа факторов – особенностей севооборота, технологий обработки, характера эксплуатации угодий и т.д.

В гидротехнических системах изменения *NDVI* отражают колебания глубины и площади водоема, уменьшение которых сопровождается зарастанием мелководий и берегов растительностью. Так, закачка воды в Днепровско-Брагинское водохранилище и резкое снижение его площади выразилось в изменении значений *NDVI* с 0,1-0,2 до 0,5-0,7 в течении 2017 – 2020 гг. Более длительный и плавный процесс пересыхания Светлогорского водохранилища отразился в повышении *NDVI* с 0,4 – 0,5 до 0,6 – 0,7 (линейный тренд с коэффициентом 0,007 в год). Колебания площади и уровне озера Червоное и Михайловского водохранилища носили более сложный характер, но также отражались в изменениях *NDVI*.

Изменения растительного покрова в карьерных геосистемах имеют следующие закономерности. Карьер по добычи песков «Сожский» начал разрабатываться на месте пойменных лугов с 2007 г., что фиксируется в резком падении значений *NDVI* с 0,6 – 0,7 до 0,4 – 0,5. В карьере по добыче песков «Осовцы», напротив, разработка прекратилась в 2006-2007 гг., что отразилось в увеличении *NDVI* по мере зарастания склонов травянистой и древесно-кустарниковой растительностью (с 0,3 – 0,4 до 0,5 – 0,6). Эти изменения *NDVI* описываются уравнением линейного тренда с коэффициентом 0,0125 ($R^2=0,83$). На территории карьера по добыче стекольных песков «Ленино» существенных изменений соотношения поверхностей, лишенных растительности и с растительным покровом, в 2000 – 2020 гг. не наблюдалось, что отражается в колебаниях *NDVI* в сравнительно узком диапазоне 0,4 – 0,5. Аналогичная ситуация имеет место на территории карьера по добычи строительного камня «Глушковичи» (колебания *NDVI* в диапазоне 0,5 – 0,6).

Намывные массивы «Мельников Луг» и «Шведская Горка» были созданы в 1980-х гг. с целью расширения городского строительства в пойменном ландшафте реки Сож. В течение 1990-х и начала 2000-х гг. в их пределах развивались сукцессии растительности, в ходе которых сформировался разреженный растительный покров. С 2000-х гг. постепенно происходило застраивание намывного массива «Мельников Луг» ($NDVI=0,3 - 0,4$). Максимум развития растительного покрова на массиве «Шведская Горка» приходится на 2008 – 2014 гг. ($NDVI=0,4 - 0,5$). Начало активной застройки 2015 г. – $NDVI>0,3$. Осушенный массив «Южный» в период 2000 – 2009 гг. зарос травянистой и кустарниковой растительностью ($NDVI=0,6 - 0,7$). Начало активной застройки – 2010 г., когда значения $NDVI$ резко снизились до 0,4.

Для изучения связи между $NDVI$ и климатическими показателями были применены корреляционный анализ, результаты которых приведены соответственно таблице 1.

Таблица 1 – Корреляция $NDVI$ с климатическими показателями в геосистемах, не испытывающих нарушений или смены землепользования (коэффициент ранговой корреляции Спирмена)

Геосистемы	Климатические показатели			
	Средняя температура лета, °С	Летнее количество осадков, мм	Среднегодовая температура, °С	Годовое количество осадков, мм
Лесные	Н.д.	Н.д.	0,27, $p<0,05$	0,55, $p<0,001$
Болотные	Н.д.	Н.д.	Н.д.	Н.д.
Пахотные	-0,49, $p<0,01$	0,43, $p<0,01$	-0,51, $p<0,01$	0,42, $p<0,01$

Н.д. – значения коэффициента корреляции недостоверны, $p>0,05$

Видно, что статистически достоверная корреляция между $NDVI$ лесных геосистем и климатическими показателями лета отсутствует. $NDVI$ лесных геосистем положительно коррелирует со среднегодовой температурой (коэффициент корреляции Спирмена 0,27, $p<0,05$) и годовым количеством осадков (0,55, $p<0,001$). Для болотных геосистем статистически значимой связи $NDVI$ с климатическими показателями не установлено.

Положительный тренд $NDVI$ в лесных и болотных геосистемах может быть обусловлен двумя основными факторами: потеплением климата (например, благоприятно влияет на продуктивность увеличение вегетационного периода) и ростом содержания CO_2 в атмосфере (способствует фотосинтезу) [3]. Так, взаимосвязь изменений $NDVI$ лесных ненарушенных геосистем со среднегодовой температурой и годовым количеством осадков объясняется тем, что летний $NDVI$ лесов зависит не только от характеристик собственно летнего периода, но и от характеристик зимы и весны (повреждение деревьев морозами, эффект «зимней засухи», весенние заморозки, весенняя засуха). Наличие положительного тренда $NDVI$ указывает на рост продуктивности болот, связь которой с климатическими изменениями в пространственно-временном масштабе исследований не обнаружена. Вероятно, продуктивность ненарушенных болот, тестовые участки которых находятся в пределах особо охраняемых природных территорий, отражает глобальную тенденцию «озеленения», вызванную увеличением содержания CO_2 в атмосфере [3].

Корреляционный анализ показал, что $NDVI$ пахотных геосистем достоверно коррелирует с климатическими показателями, при этом с температурами – отрицательно, а с осадками – положительно (таблица 1). Корреляционная связь $NDVI$ с климатическими показателями установлена для пахотных геосистем независимо от возраста их эксплуатации. $NDVI$ пахотных геосистем на осушенных болотах коррелирует только с температурами, корреляция с осадками – недостоверна. Динамика $NDVI$ пахотных геосистем существенно отличается от изменений этого показателя в природных лесных и болотных

геосистемах. Так, отсутствует выраженный и статистически значимый тренд *NDVI*. Кроме того, имеет место статистически достоверная отрицательная корреляция *NDVI* с температурой и положительная корреляция *NDVI* с осадками.

Постпахотные, лесные нарушенные и техногенные геосистемы в течение 2000 – 2020 гг. испытывали значительные изменения, вызванные восстановительными или дигрессивными процессами, которые можно оценить по проективному покрытию травяной и древесно-кустарниковой растительности. Для таких геосистем наблюдается тесная положительная корреляция между *NDVI* и величиной проективного покрытия растительности (таблица 2). В заброшенных пахотных геосистемах по мере восстановления растительного покрова значения *NDVI* увеличиваются, при застройке пахотных угодий, наоборот, – снижаются [4]. Указанные закономерности подтверждаются на региональном уровне при анализе родов ландшафтов [4,5,6].

Видно, что в техногенных геосистемах колебания *NDVI* находятся в тесной связи с изменениями проективного покрытия травяной и древесно-кустарниковой растительности. При этом значения коэффициента корреляции между *NDVI* и проективным покрытием больше 0,9 (т.е. тесная корреляция). Климатические показатели на динамику *NDVI* в техногенных геосистемах не влияют (корреляция недостоверна). В лесных нарушенных геосистемах рост проективного покрытия травяной растительности индицирует их деградацию (так как происходит снижение сомкнутости древостоя и рост площади вырубок, гарей, полей) и соответственно снижение *NDVI*.

Таблица 2 – Корреляция *NDVI* с показателями растительного покрова и климата в локальных геосистемах, испытывающих восстановительные или дигрессивные смены (коэффициент ранговой корреляции Спирмена)

Геосистемы	ППТР*, %	ППДР**, %	Климатические показатели			
			Средняя температура лета, °С	Летнее кол-во осадков, мм	Среднегодовая температура, °С	Годовое кол-во осадков, мм
Постпахотные	0,670, p<0,0001	0,804, p<0,0001	Н. д.	Н. д.	Н. д.	Н. д.
Техногенные	0,920, p<0,0001	0,922, p<0,0001	Н. д.	Н. д.	Н. д.	Н. д.
Лесные нарушенные	-0,658, p<0,0001	0,680, p<0,0001	Н. д.	Н. д.	Н. д.	Н. д.

*ППТР – проективное покрытие травяной растительности; **ППДР – проективное покрытие древесно-кустарниковой растительности; Н.д. – значения статистически недостоверны (p>0,05).

С другой стороны, увеличение проективного покрытия древесно-кустарниковой растительности и снижение проективного покрытия травяной растительности ведет росту значений *NDVI* (значения *NDVI* для древесно-кустарниковой растительности составляют 0,7 – 0,8, а для травянистой – 0,5 – 0,7). С климатическими показателями в таких геосистемах статистически достоверная корреляция *NDVI* отсутствует.

Таким образом, выполненные исследования показали, что продуктивность локальных геосистем, диагностируемая по *NDVI*, является чутким индикатором, протекающих в них природных и антропогенных процессов. В геосистемах, для которых характерно отсутствие существенных нарушений или резких изменений землепользования, динамика *NDVI* обусловлена действием климатических факторов и дифференцирована в зависимости от типа геосистемы и особенностей растительности. Наиболее значения

изменения климата имеют для продуктивности пахотных геосистем. При потеплении климата их продуктивность в сильной степени лимитируется летними осадками. В меньшей степени от динамики климатических показателей зависит продуктивность лесных ненарушенных и болотных геосистем.

В геосистемах, испытывающих восстановительную или дигрессивную динамику под воздействием антропогенных процессов, главным фактором, обуславливающих изменения *NDVI*, являются колебания проективного покрытия травяной и древесно-кустарниковой растительности. Действие на продуктивность таких геосистем климатических факторов маскируется более существенным влиянием процессов, связанных с ростом или снижением антропогенной нагрузки.

Список литературы

1. Yengoh G.T., Dent D., Olsson L., Tengberg A.E., Tucker C.J. 2014. 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. – Lund University Centre for Sustainability Studies LUCSUS, 2014 – 80 p.

2. Raynolds M.K., Walker D.A., Maier H.A. *NDVI* patterns and phytomass distribution in the circumpolar Arctic // *Remote Sensing of Environment*. – 2006. – V.102. – P. 271–281.

3. Zhu Z., Piao S., Мyneni R.B. et al. Greening of the Earth and its drivers // *Nature climate change*. – 2016. – V. 6. – P. 791–795.

4. Гусев, А.П. 2020. Изменения *NDVI* как индикатор динамики экологического состояния ландшафтов (на примере восточной части Полесской провинции) / А.П. Гусев // *Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология*. – 2020. – № 1. – С. 101–107.

5. Гусев, А.П. Многолетние тренды состояния растительности в природных и антропогенных ландшафтах Белорусского Полесья по данным MODIS (2000-2019) / А.П. Гусев, Н.Н. Филончик, Н.С. Шпилевская // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология*. – 2020. – № 6. – С. 200–209.

6. Гусев, А.П. Нормализованный дифференцированный вегетационный индекс охраняемых ландшафтов юга Беларуси / А.П. Гусев, Н.Н. Филончик, Н.С. Шпилевская // *Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология*. – 2021. – № 2. – С. 13–19.

NDVI AS AN INDICATOR OF THE ANTHROPOGENIC DYNAMICS OF LOCAL GEOSYSTEMS

A. P. GUSEV, V. G. KRUPYANKO

andi_gusev@mail.ru

*F. Skorina Gomel State University,
Gomel, Republic of Belarus*

Abstract. *The purpose of this work is to study changes in NDVI as indicators of anthropogenic processes in local geosystems. Research objectives: 1) study of temporal trends of climatic indicators and NDVI of local geosystems in 2000-2020. 2) elucidation of patterns of changes in NDVI in various geosystems (forest undisturbed and disturbed, swamp, arable, post-arable, technogenic); 3) assessment of the relationship of NDVI with vegetation cover and climatic characteristics. The features of vegetation dynamics in technogenic geosystems have been studied.*

Key words: *dynamics, indicators, geosystems, technogenic, NDVI, trend, Belarus.*

ТРАНСФОРМАЦИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

О. В. ШЕРШНЁВ¹, А. И. ПАВЛОВСКИЙ¹, А. Н. ГАЛКИН², И. И. КОСИНОВА³,
И. А. КРАСОВСКАЯ²

natstudy@yandex.ru, aipavlovsky@mail.ru,

¹*Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины,
г. Гомель, Беларусь,*

galkin-alexandr@yandex.ru, iakrasovskaya@yandex.ru

²*Витебский государственный университет им. П. М. Машерова,
г. Витебск, Беларусь,*

³*ФГБОУ ВО Воронежский государственный университет,
г. Воронеж, Россия*

Аннотация. На территории Республики Беларусь расположено большое количество объектов добычи и переработки минерального сырья. Цель работы – анализ трансформации химического состава подземных вод на примере добычи и переработки минерального сырья в Республики Беларусь. Обобщены данные по выявленным антропогенным очагам загрязнения подземных вод. Проанализирована динамика показателей качества воды и установлены тренды формирования загрязнения. Установлено, что загрязнение дифференцируемо по площади и компонентному составу. Загрязнение носит как устойчивый характер, так и имеет определенную тенденцию снижения, хотя и не постоянную во времени.

Ключевые слова: добыча и переработка минерального сырья, подземные воды, карьеры, отвалы, загрязнение, химический состав.

Анализ многолетней динамики за период с 1996 до 2021 г. в структуре общего водоотбора в Республике Беларусь показывает доминирующую роль подземных вод, доля которых составляла от 54 до 58 %. Преобладание добычи подземных вод обусловлено их более высоким качеством по сравнению с поверхностными водами и, как следствие, приоритетным использованием, прежде всего для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Изменение качества подземных вод по различным причинам может привести к формированию локальных и региональных гидрогеохимических аномалий, что потребует дополнительных средств для водоподготовки, а в худшем случае вызвать необходимость разведки нового участка для строительства водозабора.

Поэтому выявление характера изменения показателей качества подземных вод позволяет установить возможные причины таких преобразований и обосновать мероприятия по их устранению.

Задачи настоящего исследования включали:

- 1) обобщение литературных материалов по основным источникам загрязнения подземных вод на территории Республики Беларусь;
- 2) анализ динамики и трендов показателей качества подземных вод в зоне влияния объектов добычи и переработки минерального сырья в Республике Беларусь на основе абсолютных величин показателей загрязнения и количественных критериев.

В качестве количественных критериев, относительно которых характеризуется изменение качества подземных вод, использованы показатели их фонового качества. Для этого используем соотношение $C_{\text{набл}}/C_{\text{ф}}$, в котором $C_{\text{набл}}$ – наблюдаемая концентрация показателя, а $C_{\text{ф}}$ – фоновая концентрация показателя.

Анализ рядов динамики проведен на основе аналитических показателей темпов прироста, рассчитанных базисным и цепным способами.

Для визуализации, анализа трендов, систематизации и обобщения результатов исследования использованы графические методы представления данных в виде гистограмм и графиков.

Обобщение данных по антропогенным источникам воздействия на компоненты природной среды Республики Беларусь позволило провести структуризацию антропогенных объектов с выявленными очагами загрязнения подземных вод.

Под очагом загрязнения подземных вод понимается приуроченная к антропогенному объекту область водоносного горизонта, содержащая воды существенно иного качества по сравнению с фоновым качеством вод этого горизонта и сформировавшаяся вследствие утечек стоков с поверхности земли [2].

К такому роду объектов относятся:

- территории хранения и захоронения промышленных отходов химической, металлургической, транспортной промышленности и предприятий энергетики;
- места расположения иловых площадок и площадок складирования осадка очистных сооружений объектов водоснабжения и водоотведения;
- полигоны твердых коммунальных отходов;
- объекты хранения, транспортировки и распределения нефтепродуктов;
- участки захоронения непригодных пестицидов;
- территории размещения полей фильтрации и орошения;
- места добычи полезных ископаемых (карьеры).

В пределах таких территорий загрязнение подземных вод наблюдается в результате превышения фоновых концентраций по минерализации, хлор-иону, сульфат-иону, аммоний-иону, фосфат-иону, фенолу, нефтепродуктам, тяжелым металлам, СПАВ, ДДТ.

В настоящей работе оценка воздействия на подземные воды проведена по трем промышленным объектам осуществляющих добычу и переработку минерального сырья в Республике Беларусь: Старобинскому месторождению калийных солей, месторождению строительного камня «Микашевичи» и промышленному комплексу по переработке горнохимического сырья ОАО «Гомельский химический завод».

Выбор объектов обусловлен рядом факторов. Предприятия по добыче и переработке минерального сырья относятся к потенциальным объектам возникновения геоэкологических проблем, которые могут проявляться на различных этапах производственной деятельности, включая извлечение полезного ископаемого и его первичную обработку, процесс получения готовой продукции, образование и размещение отходов производства. Рассматриваемые объекты отличаются значительными размерами и длительным периодом функционирования, составляющим более полувека.

Старобинское месторождение калийных солей открыто в 1949 г. Расположено месторождение в пределах Солигорского, Любанского и Слуцкого районов Минской области и занимает площадь около 350 км². Добычу и переработку сырья Старобинского месторождения осуществляет предприятие ОАО «Беларуськалий».

Старобинское месторождение включает в себя 4 шахтных поля, в пределах которых осуществляется добыча калийной соли. Каждое шахтное поле разрабатывается отдельным рудоуправлением, состоящим из рудника и обогатительной фабрики.

В результате переработки сильвинитовой руды на Солигорском ГОК на земной поверхности образованы солеотвалы отходов, накопленные объем которых составляет более 1 млрд т, а высота до 100 – 120 м. Отходы почти на 90 % состоят из хорошо растворимого галита. Они являются объектом интенсивного воздействия водной и ветровой эрозии. В результате воздействия атмосферных осадков на складированные солевые отходы происходит их выщелачивание и образование рассолов с минерализацией 260 – 350

г/дм³, насыщенных *NaCl* и в меньшей степени *KCl*. Хлоридно-натриевые насыщенные рассолы фильтруются в подстилающие грунты и водоносные горизонты [1, 3].

Наблюдение за состоянием подземных вод вблизи солеотвалов и шламохранилищ четырех рудоуправлений ОАО «Беларуськалий» осуществляется посредством локального мониторинга по 129 наблюдательным скважинам [4].

Анализ данных мониторинга за период 2017 – 2019 гг. указывает на устойчивый уровень весьма высоких концентраций хлорид-иона, сульфат-иона и минерализации воды в местах расположения всех четырех рудоуправлений (рисунок 1).

Наиболее высокие концентрации загрязняющих веществ на протяжении длительного времени наблюдаются в подземных водах в скважинах рудоуправления № 2. Средние значения хлорид-иона превышают ПДК для питьевых вод в 100 раз, минерализации в 60 раз, а максимальные концентрации сульфат-иона составляют до 280 ПДК [5].

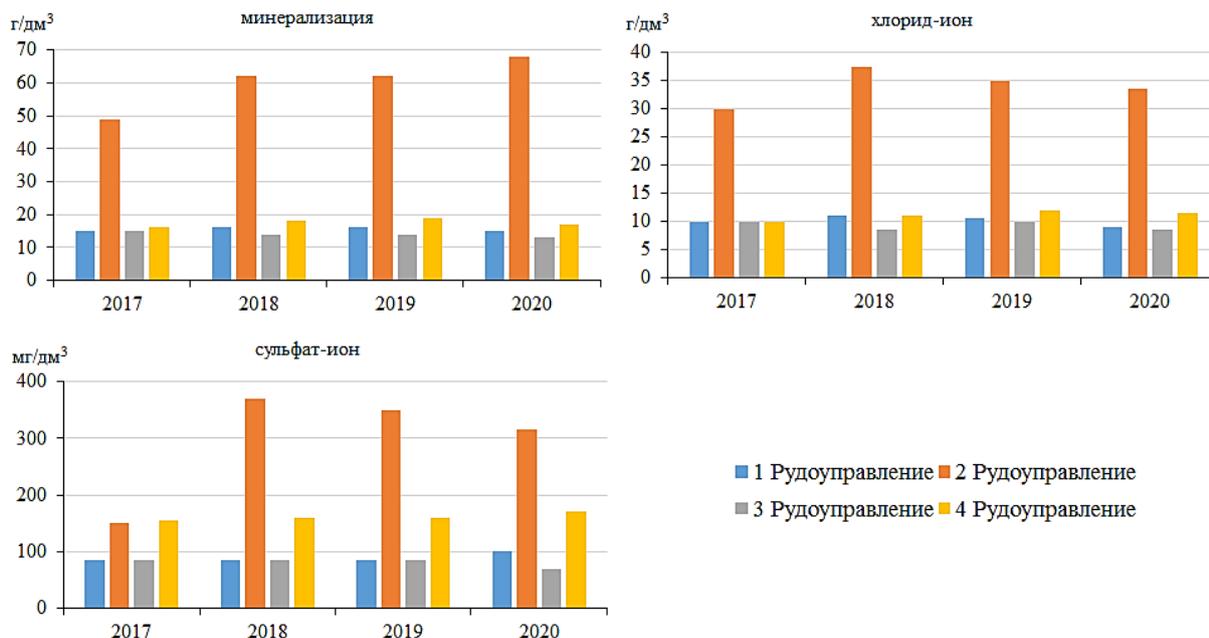


Рисунок 1 – Средние концентрации загрязняющих веществ в наблюдательных скважинах рудоуправлений солеотвалов и шламохранилищ ОАО «Беларуськалий» за период 2017 – 2020 гг. По данным [5]

Месторождение строительного камня «Микашевичи» расположено в восточной части Лунинецкого района Брестской области, в 500 м западнее г. Микашевичи.

Разработка полезного ископаемого (диориты, гранодиориты, граниты) осуществляется открытым способом РУПП «Гранит» и предусматривает ведение вскрышных, буровзрывных и добычных работ. Карьер является крупнейшей в Центральной Европе открытой горной выработкой и простирается с запада на восток примерно на 2990 м, а с севера на юг около 1770 м. Глубина карьерной выемки существенно превышает естественную глубину расчленения и составляет до 150 м от поверхности или -20 м в абсолютных высотах.

Определенное негативное влияние на химический состав подземных вод оказывают карьерные воды, которые обогащены хлоридами, сульфатами, соединениями железа, цинка, никеля, меди и свинца. В них также присутствуют взвешенные вещества, нефтепродукты, хром, что обусловлено производственной деятельностью всего комплекса предприятий РУПП «Гранит».

В районе карьера «Микашевичи» локальный мониторинг подземных вод осуществляется на 4 пунктах наблюдения: в 3 наблюдательных скважинах и 1 фоновой [5].

За более чем десятилетний период наблюдений постоянно обнаруживается превышение фоновых концентраций минерализации воды, сульфат-иона и хлорид-иона. Наиболее существенное превышение фоновых концентраций (в десятки и сотни раз) характерны для скважины №1 (рисунок 2).

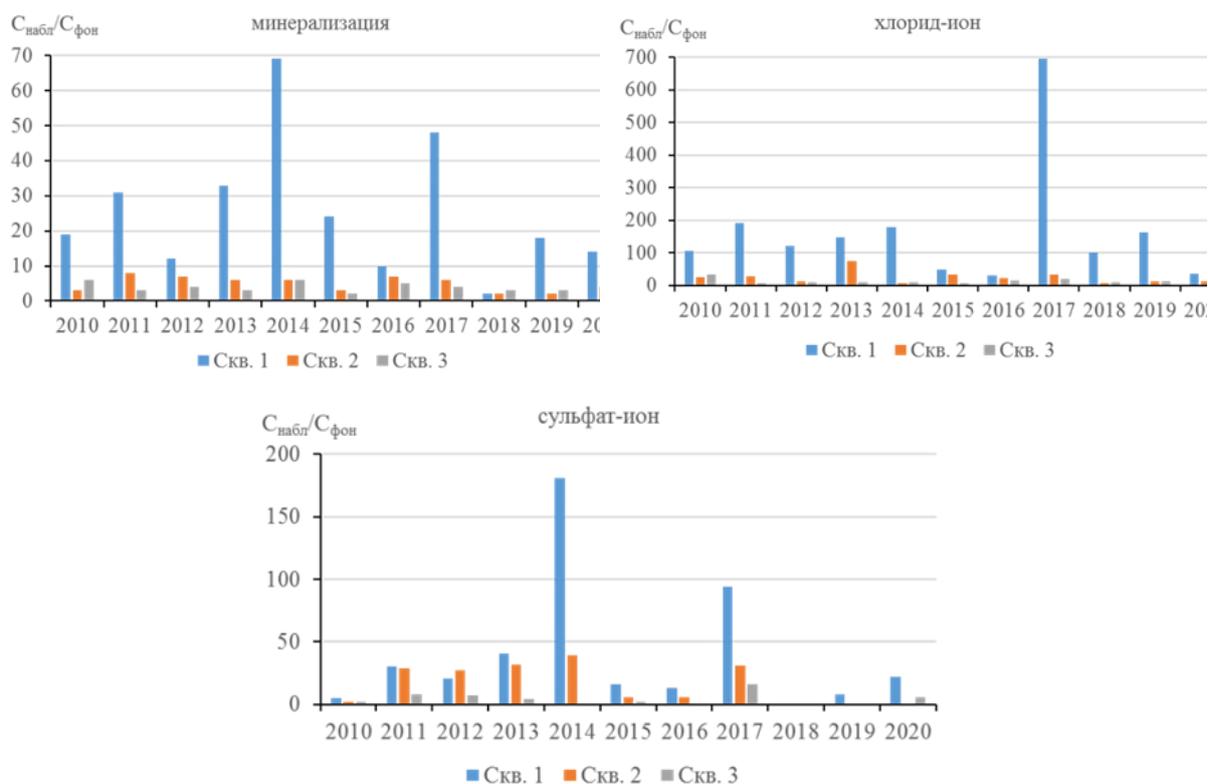


Рисунок 2 – Уровень воздействия ($C_{набл.}/C_{фон}$) загрязняющих веществ в скважинах карьера «Микашевичи» за период 2010 – 2020 гг. По данным [5]

За период 2010 – 2020 гг. в отдельных наблюдательных скважинах отмечается постоянное или периодическое превышение ПДК для вод хозяйственно-питьевого назначения.

В то же время динамика распределения концентраций загрязняющих веществ в подземных водах наблюдательных скважин указывает на определенную тенденцию, хотя и не постоянную во времени, снижения концентраций загрязняющих веществ.

Гомельский химический завод размещен в Гомельском районе на северо-западной окраине г. Гомеля. Предприятие является одним из крупнейших в нефтехимической отрасли Республики Беларусь производителем фосфорсодержащих минеральных удобрений, тукосмесей, серной и фосфорной кислот и др.

Производственный процесс получения готовой продукции приводит к ежегодному образованию более 800 тыс. т твердых отходов фосфогипса, складированного в отвалах. Их накопленная масса составляет более 23 млн. т [6].

Данные локального мониторинга подземных вод свидетельствуют, что на территории размещения отвалов фосфогипса сохраняется, сформировавшееся в течение длительного времени загрязнение, преимущественно представленное сульфатами и фосфатами. Наиболее высокие концентрации сульфат-иона и фосфат-иона, периодически превышающие 4000 мг/дм^3 , обнаруживаются в грунтовых водах и подморенном водоносном горизонте [4]. При удалении от отвалов фосфогипса к его периферийной части и далее к границе санитарно-защитной зоны, их концентрации существенно снижаются, вплоть до величин ниже ПДК для вод хозяйственно-питьевого назначения.

Рассмотрим динамику загрязнения грунтового водоносного, используя временной ряд за 2005 – 2019 гг. для сульфат-иона. Интенсивность и относительную скорость изменения концентраций сульфат-иона исследуем с помощью коэффициента роста (снижения) и темпа прироста (сокращения), а общую тенденцию – методом скользящей средней. За базу сравнения примем концентрацию сульфат-иона в 2005 г.

Динамика сульфатного загрязнения грунтового водоносного горизонта имеет колебательный характер с периодическим сокращением от 10 до 30 % (по цепному показателю), либо возрастанием примерно на такую же величину (рисунок 3). Снижение концентраций сульфат-иона (за исключением 2011 г.) по отношению к базисному 2005 г. наиболее выражено в период 2015 – 2019 гг., когда они составляли 0,2 – 0,55 от базисного показателя. К 2015 г. концентрации сократились на 45 %, а к итоговому 2019 г. сокращение составило почти 68 %. С 2011 г. наблюдается тенденция снижения концентраций сульфат-иона и определенное их выравнивание в последние 4 года до 1700 – 2400 мг/дм³.

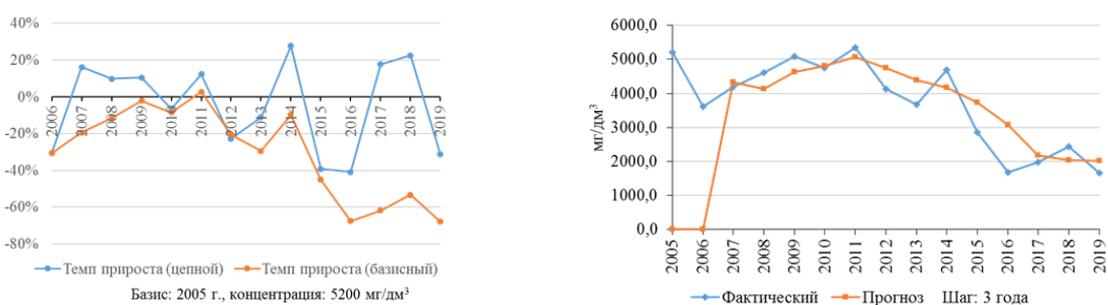


Рисунок 3 – Динамика (темпа прироста) и тенденция изменения (скользящее среднее) концентраций сульфат-иона в грунтовом водоносном горизонте (скважина 51) за 2005 – 2019 гг. Составлено по данным полевых исследований

Таким образом, проведенное исследование показало, что в пределах рассмотренных объектов добычи и переработки минерального сырья сформировались долгое время существующие очаги химического загрязнения подземных вод. Главными признаками химического загрязнения является повышенные значения показателей качества воды по сравнению с фоновыми.

Химическое загрязнение в пределах объектов исследования представлено следующими основными видами: повышенной минерализацией, повышенными концентрациями хлоридов и сульфатов. Загрязнение носит как устойчивый характер, так и имеет определенную тенденцию снижения, хотя и не постоянную во времени.

Список литературы

1. Губин, В.Н., Экология геологической среды / В.Н. Губин, А.А. Ковалев, С.А. Сладкопечев, М.Г. Ясовеев. – Минск : БГУ, 2002. – 120 с.
2. Методические рекомендации по выявлению и оценке загрязнения подземных вод / ВНИИ гидрогеологии и инж. геологии; В.М. Гольдберг [и др.]. – М. : ВСЕГИНГЕО, 1988. – 76 с. 61 с.
3. Мониторинг качества питьевых вод в Солигорском горнопромышленном районе: обзор информ. / С.С. Бачила, С.М. Зайко, Л.Ф. Вашкевич. – Минск : БелНИЦ «Экология», 2004. – 50 с.
4. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений, 2019 год. – Минск, 2020. – 493 с.
5. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений, 2020 год. – Минск, 2021. – 591 с.
6. Состояние природной среды Беларуси: экологический бюллетень. – Минск : РУП «ЦНИИКИВР», 2021. – 150 с.

TRANSFORMATION OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF GROUNDWATER IN THE ZONE OF INFLUENCE OF MINERAL EXTRACTION AND PROCESSING FACILITIES IN THE REPUBLIC OF BELARUS

O. V. SHERSHNEV¹, A. I. PAVLOVSKY¹, A. N. GALKIN², I. A. KRASOVSKAYA²

*natstudy@yandex.ru aipavlovsky@mail.ru,
galkin-alexandr@yandex.ru iakrasovskaya@yandex.ru*

¹*Francisk Skorina Gomel State University,
Gomel, Republic of Belarus,*

²*Vitebsk State University named after P. M. Masherov,
Vitebsk, Republic of Belarus*

Abstract. *A large number of facilities for the extraction and processing of mineral raw materials are located on the territory of Belarus. The aim of the study is to analyze the transformation of the chemical composition of groundwater on the example of mineral extraction and processing facilities in the Republic of Belarus. Data on detected anthropogenic groundwater contaminated sites are summarized. The dynamics of water quality indicators was analyzed and the trends of pollution formation were established. It was found that the pollution is differentiated by area and component composition. Contamination is both stable and has a definite downward trend, although not constant over time.*

Key words: *mineral extraction and processing, groundwater, quarries, dumps, contamination, chemical composition.*

УДК 574.5.502.1

О ВЛИЯНИИ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ИЗМЕНЕНИЕ ЛАНДШАФТОВ АПСХЕРОНСКОГО ПОЛУОСТРОВА

X. X. ХАЛИЛОВА¹, В. А. МАМЕДОВ², Т. Г. КУЛИЕВА³

khalilova@rambler.ru

¹*Институт Физики Академии Наук Азербайджана,
Баку, Азербайджан,*

vtamed@rambler.ru

²*Институт Геологии и Геофизики Академии Наук Азербайджана,
Баку, Азербайджан,*

taleha-i.va@gmail.com

³*«Azersu» Открытое Акционерное Общество,
г. Баку, Азербайджан*

Аннотация. *В статье рассматриваются вопросы изменения природных ландшафтов под воздействием нефтепромышленной деятельности на Апшеронском полуострове Азербайджана. Выявлены основные источники, оказывающие вредное воздействие на компоненты экосистемы. Приведены результаты исследований, проведенных по оценке загрязнения компонентов экосистем тяжелыми металлами и нефтяными углеводородами. Потенциальный экологический риск загрязнения тяжелыми металлами рассчитан с использованием индекса экологического риска (Ei) для определения вклада антропогенного воздействия в накопление тяжелых металлов в почвах нефтепромысловых территорий.*

Ключевые слова: Апшеронский полуостров, ландшафт, экосистема, загрязнители, углеводороды, тяжелые металлы, почва, донные отложения, ПАУ.

Апшеронский полуостров – наиболее урбанизированная территория Азербайджанской Республики, где сконцентрирован основной промышленный потенциал республики, в том числе и около 60 % добычи нефти на суше. Полуостров площадью около 2000 км² расположен на берегу Каспийского моря на востоке республики. Рельеф формировался, в основном в четвертичный период, абсолютные высоты колеблются от -27 м до 400 м, уменьшаясь с запада на восток и от центра к побережью. Здесь доминирует климат умеренно теплых полупустынь и сухих степей с сухим летом, средняя годовая температура воздуха ~14,6 °С, количество атмосферных осадков 250 мм/год, потенциальная испаряемость в четыре раза больше чем осадки. Широко распространены бурые, серо-бурые и сероземные почвы с содержанием гумуса <2 %, в низинах солончаки, а на побережье пески. Полуострову свойственна бедность растительного покрова, а на территориях занятых нефтегазовыми промыслами они практически отсутствуют. Естественный растительный покров в основном эфемерная, характеризующаяся коротким периодом вегетации [1].

Характерной чертой ландшафта полуострова является более ста солёных и рапных озёр с минерализацией воды от 2 – 3 г/дм³ до 400 г/дм³ и 19 грязевых вулканов, которые в течение последних 200 лет, в общем, извергались 95 раза. Часть извергаемых материалов составляет углеводороды.

Экогеохимические особенности ландшафтов Апшеронского полуострова определяются с одной стороны геологическим строением местности и сложившимися физико-географическими условиями, с другой стороны развитием промышленности, разведкой и эксплуатацией месторождений нефти и газа, а также эффектом техногенеза, связанного с переработкой сырой нефти [2,3].

Составляющая основу экономики страны, нефтяная промышленность является основным источником загрязнения окружающей среды. Поскольку большая часть экономического развития страны приходится на долю Апшеронского полуострова, здесь экологическая ситуация обостряется день ото дня (рисунок 1).



Рисунок 1 – Местоположение нефтегазодобывающих управлений и нефтяных компаний на территории Апшеронского полуострова

Загрязнение компонентов ландшафта в значительной степени происходит вследствие влияния токсичных микроэлементов, обусловленных природными (породы, грунтовые воды, грязевые вулканы и др.) и техногенными факторами (нефтедобыча, нефтехимические и цементные производства).

Разведка нефтяных месторождений, а также добыча, транспортировка, хранение и использование ископаемого топлива приводит к загрязнению окружающей среды вредными веществами. Начиная со второй половины XIX века, в связи с развитием нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности, изменился исторически сложившийся геохимический баланс окружающей среды в результате загрязнения различными выбросами. Многие загрязнители не поддаются биологическому разложению, а огромное количество мигрирующих в окружающую среду веществ накапливается в почве, растениях и донных отложениях водоемов [6]. Экосистемы, богатые вредными веществами со временем теряют свои природные качества и создают серьезную опасность для всего живого. В результате сильной антропогенной нагрузки на протяжении многих лет здесь нефтезагрязненные почвы трансформировались в абиогенные ландшафты [5].

В пробах донных отложений озер региона обнаружены разные микроэлементы. В обогащении озер микроэлементами важное место занимают техногенные сбросы в них. Большинство озер Апшерона, в том числе и их донные отложения, в разной степени загрязнены техногенными сбросами. Среди загрязнителей преобладают нефтепродукты, синтетические поверхностно-активные вещества, тяжелые металлы и др. канцерогенные и мутагенные вещества [4].

Для правильного решения существующих проблем целесообразно проводить исследования по индивидуальным загрязнителям и оценить их негативное воздействие на окружающую среду. Нами проводились исследования для определения степени загрязненности компонентов экосистемы на территории нефтяных месторождений. В таблице 1 приведены результаты исследований, проведенных для определения загрязнения донных отложений водоемов нефтяными углеводородами и металлами.

Таблица 1 – Загрязнение донных отложений водоемов нефтяными углеводородами и металлами на территории нефтяных месторождений

Пробы	Загрязнители (мг/кг)									
	C HУ	Ni	Co	Pb	Mn	Cr	Zn	Cu	Cd	V
1	1809	44,7	18,4	18,9	136,4	11,9	20,4	14,9	33,0	3,3
2	918	3,0	9,6	7,0	155,0	16,1	20,1	12,9	NO	3,0
3	11928	36,4	7,6	6,9	213,4	11,3	16,9	58,9	17,8	1,8
4	1737	15,2	10,9	6,9	162,0	14,9	21,0	14,8	NO	3,2
5	2850	13,2	9,8	6,3	159,1	18,4	20,3	13,6	NO	2,1
6	546	50,1	19,9	12,1	636,0	23,9	30,0	13,1	29,8	6,9
7	780	44,6	9,8	9,6	351,0	16,9	86,8	83,1	28,4	4,0
8	1710	52,1	25,0	10,9	546,0	20,6	32,3	11,0	29,4	8,9
9	495	49,6	24,6	11,3	513,2	23,9	29,6	10,6	1,0	9,3
10	570	46,8	21,0	11,6	596,0	25,1	28,3	12,9	31,0	5,7

Примечание: 1. *СНУ– суммарные нефтяные углеводороды; 2.*НО – не обнаружено, т.е. количество элемента ниже диапазона измерения анализатора.

Как видно из таблицы, средние содержания нефтяных соединений в исследуемой области отмечены в пределах 900 – 1700 мг/кг. Эти значения значительно превышают фоновую концентрацию нефти для нефтезагрязненных почв республики (100 мг/кг, т.е. 0,01%). Во многих образцах концентрации токсичных тяжелых металлов, особенно

Cd, *Cr*, *Cu* и *Zn* оказались выше их допустимых уровней, принятых в республике – 1 мг/кг, 6 мг/кг, 3 мг/кг и 23 мг/кг, соответственно. В подавляющем большинстве образцов значения *Cd* значительно превышает его фоновый уровень (3 мг/кг). Содержание *Cr* было значительно выше его предельно-допустимой концентрации (ПДК) на большинстве станций отбора проб.

Во время исследований, проведенных на территории других нефтегазодобывающих управлений (НГДУ) выявлены высокие концентрации таких токсичных металлов как *As*, *Cd*, *Cr*, *Hg*, *Pb*, *Cu*, и *Zn* в почвенных образцах, превышающие ПДК принятых в Республике. Анализ показывает, что количество этих металлов в некоторых областях исследований превышает и фоновый уровень (ФУ).

Потенциальный экологический риск загрязнения тяжелыми металлами почв и донных отложений определяется путем расчета индекса экологического риска. На основе результатов анализа по загрязнению почв на территориях НГДУ с *As*, *Cd*, *Cr*, *Hg*, *Pb*, *Cu*, *Zn* проводились расчеты и определены отдельно для каждого элемента индекс экологического риска (E_i) [7]. Фактор экологического риска для любого тяжелого металла рассчитывается по следующему уравнению:

$$E_i = T_i f_i = T_i \frac{C_i}{B_i}$$

где T_i – фактор, определяющий степень токсичности металла, f_i отношение концентрации металла в пробе C_i к его фоновому уровню B_i в почве.

В расчетах использовались результаты анализов не менее 10 образцов. Полученные данные показывают, что потенциальный риск тяжелых металлов для экосистемы больше зависит от степени опасности элемента, а не от уровня загрязнения. Несмотря на то, что количество *Hg* в проанализированных образцах почвы оказалось ниже ПДК и ФУ, его процентная доля в общем потенциальном риске значительно выше, чем у большинства металлов (рисунок 2).

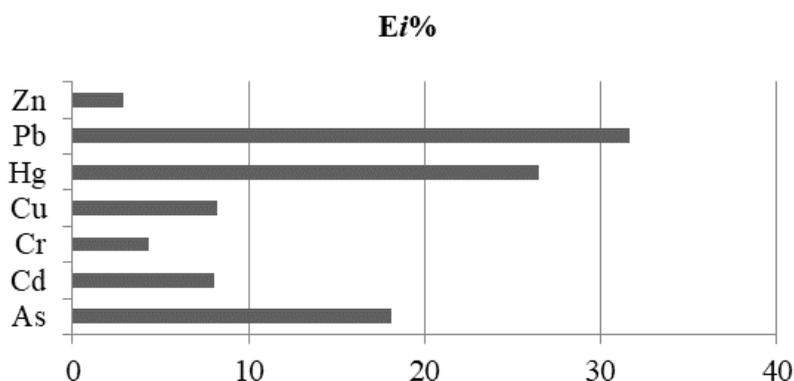


Рисунок 2 – Потенциальный экологический риск загрязнения тяжелыми металлами на территории НГДУ Апшерона

В ходе исследований в пробах, отобранных из поверхностных вод исследуемой территории, были обнаружены высокие уровни СНУ, в том числе полициклических ароматических углеводородов (ПАУ). В некоторых пробах количество наиболее токсичных для экосистемы ПАУ значительно превышало их допустимые концентрации. Исследование показало, что количества таких вредных ПАУ как нафталин, флюорен, фенантрен, пирен, флюорантин, хризен и бензо(а)-пирен менялись от 1,3 нг/л до 20690,0 нг/л в образцах нефтезагрязненных вод (таблица 2).

Таблица 2 – Количество ПАУ в образцах, взятых из поверхностных вод (нг/л)

ПАУ	Станции отбора проб						
	1	2	3	4	5	6	7
1. Нафталин	27,8	1056,4	47,4	21,7	49,3	14,4	15,5
2. Аценафтилен	0,7	120,9	131,2	14,0	20,4	0,4	0,7
3. Аценафтен	2,2	246,4	33,4	5,2	54,8	0,8	0,8
4. Флюорен	8,5	4134,7	215,7	5,5	1208,6	1,4	3,3
5. Фенантрен	20,4	20690,6	1376,5	25,0	532,3	7,2	10,4
6. Антрацен	1,7	564,9	45,7	9,3	75,1	1,0	0,3
7. Флюорантин	3,4	723,5	79,6	18,0	83,3	6,4	3,1
8. Пирен	7,5	1368,9	194,4	171,7	240,2	8,5	6,3
9. Бензо(а) антрацен	1,2	761,7	44,4	17,8	102,4	3,5	0,3
10. Хризен	13,9	5121,1	753,5	195,4	669,5	8,7	1,9
11. Бензо(б)флюорантин	3,6	470,1	70,2	29,8	53,0	3,8	0,7
12. Бензо(к)флюорантин	1,5	344,0	36,4	16,2	17,9	2,2	1,1
13. Бензо(а)пирен	1,3	348,2	39,3	74,5	22,3	2,9	2,3
14. Индено(1,2,3cd)пирен	3,6	121,5	8,9	97,3	5,3	3,4	0,5
15. Бензо(ghi)перилен	4,3	301,4	28,8	139,7	26,8	3,5	2,0
16. Дибензо(ah)антрацен	0,7	188,5	13,0	22,9	14,6	0,9	0,0
ПДК	5 нг/л						

На основании анализа данных, полученных в результате исследований, можно сделать вывод, что под долголетним влиянием нефтегазовой промышленности на Апшеронском полуострове существенно изменены природные ландшафты. На территории нефтегазодобывающих управлений компоненты экосистемы загрязнены такими вредными веществами, как углеводороды, тяжелые металлы, радионуклиды и т.д. Исследования показали, что в отдельных участках территории поверхностные воды, почвы и донные отложения содержат значительные количества токсичных углеводородов и тяжелых металлов, которые создают серьезную угрозу для всех живых организмов.

Список литературы

1. Алекперов, А.Б. Апшерон: Проблемы гидрогеологии и геоэкологии / А.Б. Алекперов. – Баку : Аз. Гос. Книж. палата. 2000. – 484 с.
2. Ализаде, Э.К. Экогеохимические особенности современных ландшафтов Апшеронского полуострова / Э.К. Ализаде, Г.И. Рустамов, Э.Д. Керимова. – Баку : Аврора, 2015. – 245 с. (на азерб.яз).
3. Бабаев, Э.Р. Особенности изменения состава и свойств нефтяных загрязнений некоторых территорий Апшеронского полуострова в процессе биодеструкции в почве / Э.Р. Бабаев. – Автореферат дис...докт. философ.по химии. Баку, 2013. – 25 с.
4. Мамедов, В.А. Гранулометрические, минералогические и химические особенности донных отложений озер Апшерон-Гобустана / В.А. Мамедов. – Известия НАН Азербайджана. Серия науки о Земле. – 2003. – № 2. – С.58–68.
5. Мирзоев, А.Б. Экологические проблемы нефтепромысловых территорий Апшеронского полуострова и азербайджанского сектора Каспийского моря и пути их преодоления / А.Б. Мирзоев, Ф.Б. Шыхалиев. – Баку : Элм, 2012. – 368 с. (на азерб.яз.).

6. Халилова, Х.Х. Загрязнение почв и грунтовых вод углеводородами и тяжелыми металлами в зоне влияния выбросов нефтяной промышленности / Х.Х. Халилова // Процессы Нефтехимии и Нефтепереработки, – Баку. – 2016. – № 2(66). – С. 160–167.

7. Khalilova, H. Kh., Mammadov, V. A. The assessment of anthropogenic impact on heavy metal pollution of soils and sediments in urban areas of oil industrial region of Azerbaijan // Polish Journal of Environmental Studies, – 2016. № 1, (v. 25), – p. 159–166.

ABOUT THE IMPACT OF THE OIL AND GAS INDUSTRY ON THE CHANGE OF LANDSCAPES IN THE APSSHERON PENINSULA

H. KH. KHALILOVA¹, V. A. MAMMADOV², T. H. KULIEVA³

khalilova@rambler.ru

¹*Institute of Physics of Azerbaijan National Academy of Sciences,
Baku, Azerbaijan
vmamed@rambler.ru*

²*Institute of Geology and Geophysics of Azerbaijan National Academy of Sciences,
Baku, Azerbaijan,
taleha-i.va@gmail.com*

³*«AzerSu» Open JSC, Baku, Azerbaijan*

Abstract. *The paper discusses the issues of transformation of natural landscapes under the impact of oil industrial activities in the Absheron peninsula of Azerbaijan. The main sources causing hazardous impact on the ecosystem components were revealed. The results derived from the studies carried out to assess the pollution of ecosystem components by heavy metals and petroleum hydrocarbons are provided. Potential ecological risk of heavy metal pollution was calculated using ecological risk index (Ei) to identify the contribution of anthropogenic impact on heavy metal accumulation in the soils of oil field areas.*

Key words: *Absheron peninsula, landscape, ecosystem, pollutants, hydrocarbons, heavy metals, soil, bottom sediments, PAH.*

УДК 550.34+550.343+624.131.4

АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СПЕКТРОВ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО МОСТА КЕРКИ-КЕРКИЧИ ЧЕРЕЗ РЕКУ АМУДАРЬЯ

Э. М. АННАГУЛЫЕВА¹, У. А. ХОДЖАЕВА², М. Ч. ГАПУРОВ¹, А. ХОДЖАЕВ¹

khojaev-a-isast@mail.ru

¹*Институт Сейсмологии и физики атмосферы Академии наук Туркменистана,
г. Ашхабад, Туркменистан;*

²*Международный университет нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева,
г. Ашхабад, Туркменистан.*

Аннотация. *В статье приводятся результаты проведенных исследований, для оценки амплитудно-частотных характеристик спектров колебаний железнодорожного моста Керки-Керкичи через реку Амударья, регистрацией сейсмошумов (микросейсм) с помощью 2-х портативных цифровых тремографов «Tromino» («Micromed S.P.A.», Италия).*

По результатам проведенного HVSR анализа следует отметить следующее:

1. Построена обобщенная многослойная V_s -модель предполагаемого разреза грунтов.
2. Выделены частоты колебаний грунта, на которых возможно усиление колебаний грунта и конструкций моста при землетрясениях.
3. Среднее значение $V_{s(0,0-30,0\text{ м})}$ верхней толщи разреза от поверхности до глубины 30 метров в районе железнодорожного моста составляет: – $V_{s(0,0-30,0\text{ м})} = 615,0$ м/сек.

Результаты апробации методики HVSR-анализа подтверждают перспективность её применения по оценке сейсмических свойств грунтов для целей сейсмостойкого строительства, а также для решения задач сейсмического микрорайонирования территории городов Туркменистана.

Ключевые слова: анализ, волны, грунт, микросейсмические колебания, оценка, резонанс, сейсмостойкое строительство, скоростной разрез, спектр, частота.

Изучение природы неравномерного распределения сейсмического эффекта на поверхности выявило зависимость степени интенсивности его проявления от особенностей геолого-тектонического строения, инженерно-геологических условий и активности техногенных процессов. В связи с этим, прогноз сейсмической опасности при землетрясениях, заключающийся в определении максимально возможной сотрясаемости отдельных участков проектируемого строительства объектов в целом решается на основе фактических материалов инженерных изысканий и специальных инструментально-геофизических работ. В практике инженерной сейсмологии результаты подобных исследований составляют основу сейсмического микрорайонирования (СМР) [2].

Известны многочисленные исследования для оценки технического состояния и диагностики эксплуатируемых искусственных сооружений по динамическим параметрам [1]. Специалистами Института Сейсмологии и физики атмосферы Академии наук Туркменистана были проведены исследования для оценки амплитудно-частотных характеристик спектров колебаний автомобильного и железнодорожного мостов Керки-Керкичи через реку Амударья регистрацией микросейсмических колебаний с помощью 2-х портативных цифровых регистраторов «*Tromino*» («*Micromed S.P.A.*», Италия).

Инженерно-геофизические исследования на объекте мосты Керки-Керкичи через реку Амударья включали в себя:

1. Регистрация сейсмического шума (микросейсмических колебаний) на грунте рядом с мостами для оценки скоростного разреза (HVSR-анализ) по спектральному отношению горизонтальных к вертикальной компонент (H/V) и определение среднего значения скорости поперечной волны (V_s) в верхней толще разреза от поверхности до глубины 30 метров $V_{s(0,0-30,0\text{ м})}$.

2. Регистрация на мостах в трёх точках для оценки амплитудно-частотных характеристик спектров собственных колебаний, иначе называемых фундаментальными или резонансными частотами.

Изучение локальных резонансных явлений в осадочных породах, обычно называемых «сайт-эффектом», является важным при оценке сейсмических свойств грунтов, т.к. проявление эффекта резонанса может привести к существенному повышению колебаний грунта в диапазоне частот 0,3 – 15 Гц.

С помощью регистратора «*Tromino*» регистрировался окружающий фон сейсмических шумов в диапазоне 0,1 – 250 Гц тремя ортогональными высокоразрешающими сенсорными датчиками – электродинамическими велосиметрами. Сейсмические колебания усиливаются, преобразуются в цифровую форму, систематизируются и переводятся на компакт-флэшку, с которой затем на персональном компьютере делается обзор данных, обработка и анализ с помощью специального программного обеспечения «*Grilla*» [4].

Программное обеспечение «*Grilla*» включает в себя программы для простого спектрального преобразования Фурье и HVSR-анализа, а также программу построения

синтетических кривых H/V , основанную на моделировании поверхностных волн (Рэля и Ляве) в области плоскопараллельных многослойных систем [3, 5].

Известно, что функция сайт-эффекта при небольших напряжениях может быть определена, как спектральное отношение горизонтальных к вертикальной компонент движения грунта, наблюдаемым на одном и том же месте, при этом, полагается, что вертикальная компонента фонового сейсмического шума не ослабляется относительно неплотными поверхностными слоями [5].

Определение динамических характеристик моста или иного сооружения по информации, полученной при регистрации его колебаний выполняется простым и в то же время очень эффективным методом отбора пиковых значений спектров колебаний мостового сооружения, основанного только на анализе спектров. Для этой цели были выполнены регистрации микросейсм в трёх точках мостов, в начале, в середине и в конце моста. Причем измерения проводились как при движении транспорта, так и, при отсутствии какого-либо движения. Собственные частоты колебаний определялись по пиковым значениям осредненных приведенных амплитуд спектров двух регистрируемых горизонтальных компонент С-Ю и В-З. Отметим, что компонента С-Ю была ориентирована вдоль моста, а компонента В-З поперек моста.

По результату регистрации построена обобщенная многослойная V_s -модель предполагаемого разреза грунтов исследуемой площадки, в рамках проведенного $HVSR$ -анализа. Результаты полученных данных на грунте рядом с железнодорожным мостом Керки-Керкичи через реку Амударья представлены на рисунке 1 (синтетическая кривая показана – пунктиром) и в таблице 1.

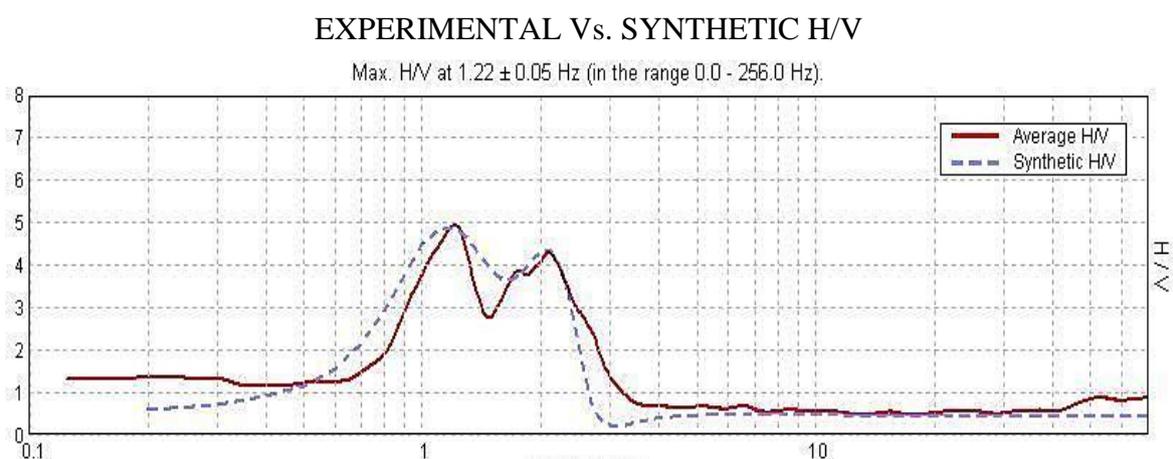


Рисунок 1 – Запись на грунте рядом с железнодорожным мостом Керки-Керкичи через реку Амударья

Таблица 1 – Введенные данные для построения обобщенную многослойную V_s -модель предполагаемого разреза грунтов исследуемой площадки

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	V_s [m/s]
85,00	85,00	615
375,00	290,00	1490
inf.	inf.	2430
$V_{s(0.0-30.0)} = 615,0$ м/сек		

На синтетической кривой H/V выделяются два пика. Первый пик выделяется на частоте 2,1 Гц с амплификацией 4,3. Второй пик выделяется на частоте 1,22 Гц с амплификацией 4,9. Среднее значение $V_{s(0.0-30.0\text{ м})}$ верхней толщи разреза от поверхности до

глубины 30 метров составляет: $V_{S(0.0-30.0\text{ м})} = 615,0$ м/сек. Отметим, что на наш взгляд, первый пик на частоте 2,1 Гц обязан своим происхождением влиянием собственных колебаний моста, поскольку регистратор был установлен рядом с мостом. Второй пик отражает фундаментальную частоту колебаний непосредственно грунта.

Взаимное влияние этих двух частот и отразилось в сложной конфигурации экспериментальной и синтетической кривой H/V .

Отметим, что на этих частотах может возникнуть сайт-эффект, который при определенных условиях может вызвать усиление колебаний грунта и конструкций моста при землетрясениях.

При анализе записей при движении поездов мы видим, что появляются гармоники связанные с возмущениями частот, которые обязаны своим происхождением движению поезда, так называемые вторые (5–6 Гц) и третьи моды (7–8 Гц) колебаний конструкций моста. Из литературных источников известно, что эти возмущения и определяют, в первую очередь, реакцию пролетных строений моста [1].

Из анализа полученных данных мы видим, что собственные частоты в начале и конце моста практически одинаковы и изменяются соответственно в пределах 2,38 – 2,77 Гц и 2,41 – 2,74 Гц. В центре моста частоты изменяются в пределах 2,66 – 2,9 Гц, и 2,54 – 2,74 Гц.

Ниже, в таблице 2 приведены результаты определения собственных частот колебаний железнодорожного моста Керки-Керкичи через реку Амударья, двух зарегистрированных горизонтальных компонент С-Ю и В-З.

Таблица 2 – Результаты оценки собственных частот в точках регистрации

№	Наименование пункта регистрации	Собственная частота колебаний (Гц)	
		В-З	С-Ю
1.	Запись на грунте рядом с железнодорожным мостом	3,0	3,0
2.	Запись на начале железнодорожного моста	2,44	2,9
3.	Запись на грунте рядом с железнодорожным мостом	2,46	2,77
4.	Запись на железнодорожном мосте	2,43	2,76
5.	Запись в центре железнодорожного моста	2,49	2,69
6.	Запись на середине железнодорожного моста	2,08	2,78
7.	Запись на конце железнодорожного моста	2,47	2,94
8.	Запись на грунте рядом с железнодорожным мостом	2,44	2,74

Выводы:

По результатам проведенного *HVSR*-анализа собранных материалов можно сделать следующие выводы и заключения:

1. Построена обобщенная многослойная V_s -модель предполагаемого разреза грунтов.
2. Выделены частоты колебаний грунта, на которых возможно усиление колебаний грунта и конструкций моста при землетрясениях.
3. Среднее значение $V_{S(0.0-30.0\text{ м})}$ верхней толщи разреза от поверхности до глубины 30 метров в районе железнодорожного моста составляет: $V_{S(0.0-30.0\text{ м})} = 615,0$ м/сек.

По результатам оценки амплитудно-частотных характеристик спектров собственных колебаний мостов можно отметить следующее и сделать рекомендации:

– анализ натуральных измерений процессов колебаний балочных пролетных мостов показал, что спектр этих колебаний является многомодальным. Основная доля энергии

процесса колебаний приходится на гармоники, соответствующие частотам собственных колебаний мостов.

– полученные характеристики колебаний могут служить исходными данными при оценке степени износа и степени повреждения элементов конструкций моста специалистами мостостроителями.

Список литературы

1. Кубацкий, Е.Н. Исследование отклика балочных мостов на воздействие поезда / Е.Н. Кубацкий [и др.]. // Мир транспорта. Т. 13. – 2015. – № 3. – С. 58–71.

2. Эсенов, Э.М. Сейсмическое микрорайонирование территорий городов Туркменистана. Ведомственные строительные нормы (ВСН 01-05) / Э.М. Эсенов, А. Ходжаев / Официальное издание Министерство строительства и архитектуры Туркменистана. – Ашхабад, 2005. – 42 с.

3. Aki K. A note on the use of microseisms in determining the shallow structures of the earth's crust, Geophysics, 29, 1964. – P. 665–666

4. Introduction to the H/V modeling routine for stratigraphic purposes in Grilla. Micromed s.p.a. Treviso-Italy number IT03906850262.

5. Nakamura Y. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Quarterly Report of Railway Technical Research 30 (1): 1989. – P. 25–33.

AMPLITUDE-FREQUENCY CHARACTERISTICS OF THE SPECTRA OF NATURAL OSCILLATIONS OF A RAILWAY BRIDGE KERKI-KERKICHI ACROSS THE AMUDARYA RIVER

E. M. ANNAGULYEVA¹, U. A. HOJAYEVA², M. CH. GAPUROV¹, A. HOJAYEV¹

khojaev-a-isast@mail.ru

¹*Institute of Seismology and Atmospheric Physics of the Academy of Sciences of Turkmenistan,
Ashgabat city, Turkmenistan;*

²*Yagshygeldi Kakayev International University of Oil and Gas,
Ashgabat city, Turkmenistan*

Abstract. *The paper presents the findings of a study conducted to assess the amplitude-frequency characteristics of the oscillation spectra of the Kerki-Kerkichi railway bridge across the Amudarya River by registering seismic noise (microseism) using 2 portative digital tromographs “Tromino” (“Micromed S.P.A.”, Italy).*

According to the results of the HVSR analysis, the following should be noted:

*1. A generalized multilayer Vs-model of the proposed soil section is constructed.
2. The ground oscillation frequencies are identified, at which it is possible to amplify ground and bridge structures oscillations during earthquakes.*

3. The average value $V_{S(0.0-30.0\text{ m})}$ of the upper section thickness from the surface to a depth of 30 meters in the area of the railway bridge is - $V_{S(0.0-30.0\text{ m})} = 615.0\text{ m/sec}$.

The results of testing the HVSR-analysis methodology confirm the prospects for its application to assess the seismic properties of soils for the purposes of earthquake-resistant construction, as well as to solve the problems of seismic microdistricting of cities in Turkmenistan.

Key words: *analysis, assessment, earthquake-resistant construction, frequency, high-speed cut, microseismic oscillations, resonance, soil, spectrum, waves.*

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ДРЕНАЖНЫХ ТРУБ С ГЕОМЕТРИЕЙ, АЛЬТЕРНАТИВНОЙ КРУГЛОМУ СЕЧЕНИЮ, И РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННЫХ ВАРИАНТОВ

Ф. Г. ГАБИБОВ, Х. Б. САЛАЕВА

farchad@yandex.ru

*Азербайджанский архитектурно-строительный университет,
г. Баку, Азербайджан*

Аннотация. В статье проведен системный анализ конструкций дренажных труб с поперечным сечением, отличающимся от круглого сечения. Рассмотрены дренажные трубы с полукруглым и арочным сводами, с сечением в виде треугольника Рело и развитого сложного треугольного сечения. Предложена дренажная труба со сводом в виде пересекающихся гипербол. Для дренажной трубы в виде перевернутой параболы опорную плиту предлагается выполнять с дугообразным поперечным сечением. Также предлагается конструкция дренажной трубы с поперечным сечением, полученным путем сочленения трех пар боковин треугольников Рело.

Ключевые слова: дренажная труба, системный анализ, конструкция, арочный свод, гипербола, треугольник Рело, грунт.

Достаточно редко используются дренажные и коллекторные трубы с поперечным сечением в виде овала, прямоугольника и треугольника.

В способе строительства дренажа, предложенного Г.И. Афанасиком и др. [1] в грунте 1 устраивают траншею 2 (рисунок 1), в нижней части которой треугольное углубление 3. Это углубление 3 выполняют путем расклинивания грунта дреноукладчиком. В верхней части углубления 3 образуются канавки 4, а в нижней части образуется щель 5. В таком углублении защемляется дренажная труба 6. За счет упругих деформаций грунта дополнительно обжимаются стенки пластмассовой трубы 6. Сечение дренажной трубы 6 приобретает как бы яйцевидную форму.

Верхняя часть трубы загружается фильтрующей засыпкой 7 и работает как полукруглая арка. Распорные горизонтальные усилия такой арки уравниваются реактивными силами уплотненного грунта фиксирующих канавок 4.

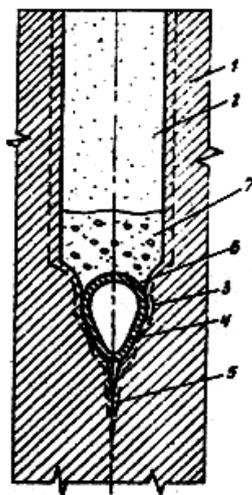
Полученное сечение дренажной трубы образует условия эффективной работы дренажа, т.к. верхний арочный свод надежно воспринимает вертикальные нагрузки, а в нижней сжатой треугольной части формируется интенсивный сток воды, который предотвращает заиливание в полости самой трубы.

Сама технология формирования указанного эффективного сечения дренажной трубы очень сложная и ненадежная. Рекомендуется яйцевидную форму сечению полимерной трубы задавать заранее (а не в траншее) и ориентацию ее положения задавать соответствующей формой желоба дреноукладчика.

Интересную конструкцию дренажной трубы разработали Л.А. Юткин и др. [2]. Труба в своем поперечном сечении имеет полукруглый свод и нижнюю часть, которая образована пересечением выпуклых участков двух гипербол. Такая конфигурация дренажной трубы позволяет сохранять достаточную скорость дренажного стока в трубе при падении уровня грунтовых вод. Это позволяет предотвратить заиливание трубы.

Как показали наши исследования, если перевернуть сечение данной трубы на 180°, то получится (рисунок 2) свод 1 с пересекающимися гиперболами 2. Такой свод очень близок к специальной циклоидной конфигурации, имеющей повышенную устойчивость. При этом в нижней полукруглой части 3 сечения трубы за счет перфорации 4

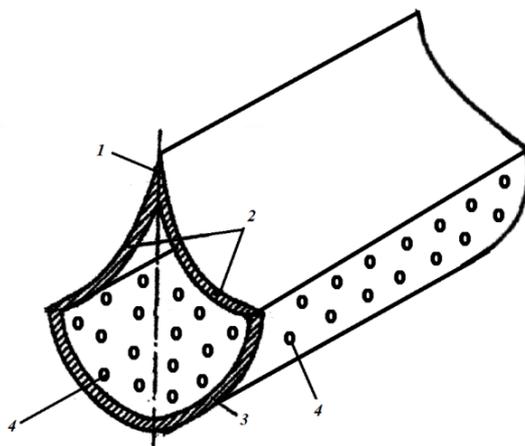
в период повышенного уровня грунтовых вод будут возникать напорные микроструйки, которые будут размывать образовавшиеся илистые отложения.



*1 – грунт; 2 – траншея; 3 – углубление; 4 – фиксирующие канавки; 5 – щель;
6 - труба; 7 – фильтрующая засыпка*

Рисунок 1 – Дренажная труба с яйцевидным сечением

Дренажную трубу с арочным сводом в виде перевернутой параболы [3] предлагает А.А. Богданов. Конструкция дренажной трубы (рисунок 3) состоит из перевернутых лотков 1, имеющих поперечное сечение перевернутой параболы, опирающегося бортами на плиту 2, установленную на грунтовое основание 3.

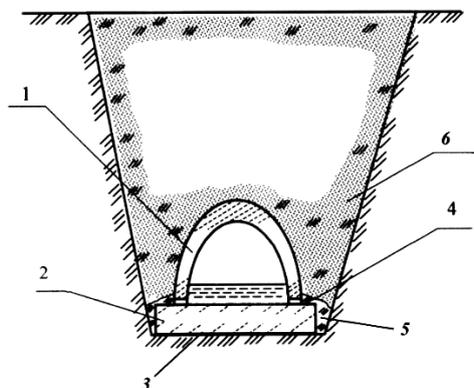


1 – свод; 2 – гиперболы; 3- полукруглая нижняя часть трубы; 4- перфорация

Рисунок 2 – Дренажная труба со сводом, образованным пересечением гипербол

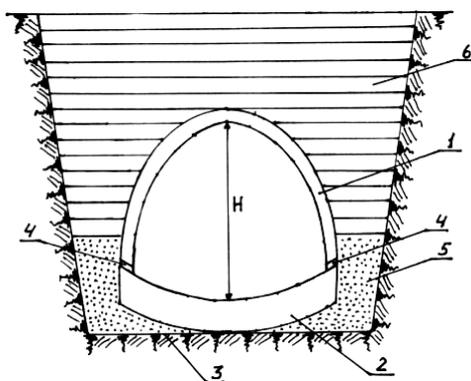
Кромка бортов лотков выполнена с периодическими выступами, образующими перфорацию 4 по линии стыка с плитой. В зоне перфорации 4 дренажная труба снабжена обсыпкой из фильтрующего материала 5. Сверху дренажная труба засыпана местным грунтом 6.

Данную конструкцию можно усовершенствовать следующим образом. Нижнюю плиту 2, установленную на грунтовое основание 3, желательно выполнить с дугообразным поперечным сечением (рисунок 4) с поверхностью 60° сектора окружности, образованной радиусом равным высоте лотка 1, а стыки лотка и плиты должны быть косыми. Тогда соединение стыков лотка и плиты становится замковым, а перфорации наклоняются в нижнюю часть трубы, повышая напор профильтровавшейся в трубу воды. Нижняя плита трубы в данном случае лучше выполняет функции транспортирования дренажного стока.



1 – перевернутой лоток; 2 – плита; 3 – грунтовое основание; 4 – перфорация;
5 – обсыпка из дренажного материала; 6 – местный грунт

Рисунок 3 – Дренажная труба со сводом в виде перевернутой параболы



1-перевернутый лоток; 2-плита; 3- грунтовое основание; 4-перфорация;
5-обсыпка из дренажного материала; 6- местный грунт

**Рисунок 4 – Новая конструкция дренажной трубы со сводом
в виде перевернутой параболы**

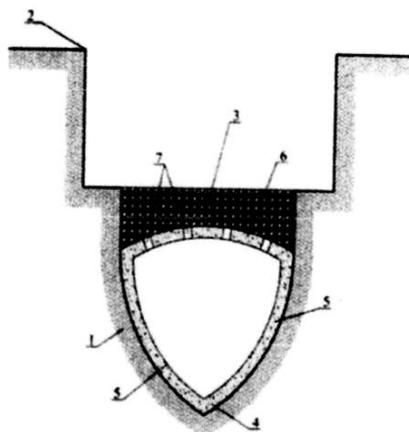
Ф.Г. Габиров и другие предложили конструкцию дренажной трубы, выполненной в поперечном сечении в виде треугольника Рело [4].

Конструкция осушительной дренажной трубы, которая укладывается в борозду 1, устроенную на дне дренажной траншеи 2 (рисунок 5). Глубина борозды 1 превышает диаметр дренажной трубы на величину требуемого объема фильтрующей засыпки 3. Один из углов 4 релообразного поперечного сечения дренажной трубы укладывается на дно борозды 1. Отходящие от нижнего угла 4 две грани 5 дренажной трубы образуют ее лотковую часть. Обращенная вверх грань 6 дренажной трубы с перфорационными отверстиями (или щелями) 7 образуют водоприемную часть.

Воды из грунта просачивается через фильтрующую засыпку 3, а затем через перфорацию 7 водоприемной грани 6 трубы поступает в полость трубы и по ее лотковой части течет по заданному уклону в сторону коллектора.

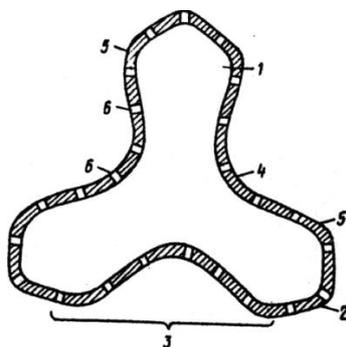
Данная конструкция имеет более простую конфигурацию, менее материалоемка и более устойчива по отношению к внешним динамическим воздействиям.

Среди конструкций имеющих треугольные очертания можно отметить дренажную трубу, разработанную Ф.Г. Габировым [5]. Данная дренажная труба 1 (рисунок 6) в поперечном сечении имеет фигуру с тремя равноудаленными от центра заостренными 2 и соединяющими их промежуточными 3 участками. Промежуточные участки 3 выполнены с вогнутой к центру средней частью 4 и выпуклыми крайними частями 5, примыкающими к заостренным участкам 2. По всей поверхности трубы нанесена перфорация 6. Указанная конструкция имеет повышенную водоприемную поверхность, при этом отличается жесткостью и прочностью.



- 1 – борозда; 2 – траншея; 3 – фильтрующая засыпка;
 4 – угол трубы, обращенных вниз;
 5 – две грани трубы, формирующие лотковую часть трубы;
 6 – верхняя грань трубы (свод); 7 - перфорация

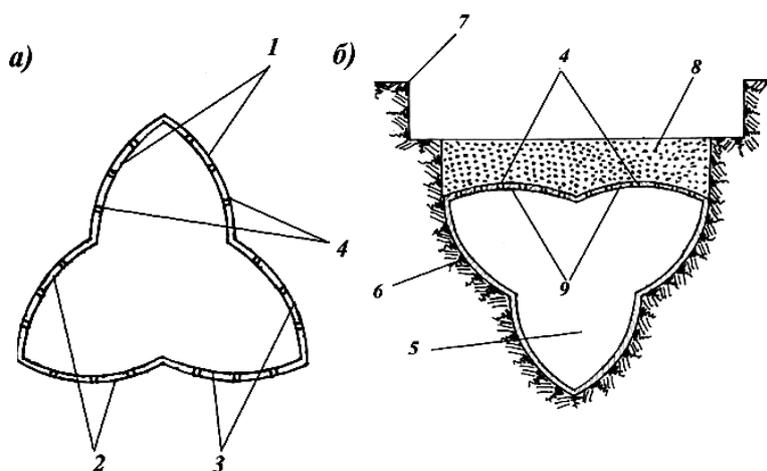
Рисунок 5 – Осушительная дренажная труба с поперечным сечением в виде треугольника Рело



- 1 – труба; 2 – заостренные участки; 3 – промежуточные участки;
 4 – вогнутая часть промежуточного участка;
 5 – выпуклая часть промежуточного участка;
 6 – перфорация

Рисунок 6 – Дренажная труба с повышенной водоприемной поверхностью

На основе проведенных исследований по выбору циклоидных треугольных конфигураций предлагается конструкция дренажной трубы с поперечным сечением, полученным путем сочленения трех пар боковин треугольников Рело (рисунок 7а). Углы данной трубы в сечении располагаются через каждые 120° описывающей их окружности. Первая пара релоидных боковин 1 располагается в верхней части сечения трубы, а остальные две пары релоидных боковин 2 и 3 располагаются в нижней части сечения трубы. Указанная циклоидная конструкция имеет высокую водозахватную поверхность, на которую нанесена перфорация 4. Циклоидная поверхность в сечении придает данной конструкции дренажной трубы достаточную жесткость и прочность. Полученную геометрию поперечного сечения дренажной трубы в ее перевернутом виде можно использовать как альтернативу известной дренажной трубы (рисунок 5). Предлагаемая конструкция показана на рисунок 7б. Нижняя секция данной трубы 5 выполняет функции лотковой части дренажной трубы. Перфорация 4 наносится на смежных верхних дугах 9 верхних секции трубы.



- а- дренажная труба с повышенной водоприемной поверхностью;*
б- осушительная дренажная труба с развитой релоидной геометрией;
1 – пара релоидных боковин в верхней части трубы;
2 и 3 – пары релоидных боковин в нижней части трубы;
4 – перфорация; 5- нижняя секция трубы; 6- борозда; 7- траншея;
8- фильтрующая засыпка; 9- верхние смежные дуги трубы

Рисунок 7 – Треугольные дренажные трубы, построенные релоидными парами боковин

Список литературы

1. Афанасик, Г.И. [и др.]. Способ строительства дренажа. Авторское свидетельство СССР на изобретение №1463859, 1989.
2. Юткин, Л.А. [и др.]. Дренажная труба. Авторское свидетельство СССР на изобретение №894049, 1978.
3. Богданов А.А. Дрена. Патент Российской Федерации на изобретение №2219310, 2003.
4. Габибов, Ф.Г. [и др.]. Осушительная дренажная труба. Патент Российской Федерации на изобретение №2611717, 2017.
5. Габибов Ф.Г. Дренажная труба. Авторское свидетельство СССР на изобретение №1587129, 1990.

INVESTIGATION OF DRAINAGE PIPE DESIGNS WITH GEOMETRY ALTERNATIVE TO ROUND SECTION AND DEVELOPMENT OF INNOVATIVE OPTIONS

F. G. GABIBOV, H. B. SALAEVA

farchad@yandex.ru

*Azerbaijan University of Architecture and Civil Engineering,
Baku, Azerbaijan*

Annotation. *The article provides a systematic analysis of drainage pipe designs with a cross-section different from a circular cross-section. Drainage pipes with semicircular arched arches, with a cross section in the form of a Reulot triangle and a developed complex triangular section are considered. A drainage pipe with a vault in the form of intersecting hyperbolas is proposed. For a drainage pipe in the form of an inverted parabola, the base plate is proposed to be made with an arc-shaped cross section. The design of a drainage pipe with a cross-section obtained by joining three pairs of sidewalls of Reulot triangles is also proposed.*

Key words: *drainage pipe, system analysis, construction, arched vault, hyperbola, Reulot triangle, soil.*

УДК 551.213

О НАЗНАЧЕНИИ ПРОТИВОЭРОЗИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ В ВЕРШИНАХ ОВРАГОВ

Ф. Г. ГАБИБОВ, Л. Ф. ГАБИБОВА

farchad@yandex.ru

*Азербайджанский научно-исследовательский институт
строительства и архитектуры,
г. Баку, Азербайджан*

Аннотация. *Овражная эрозия – типичный процесс, приводящий к локальной потере ресурса геологического пространства со всеми вытекающими отсюда экологическими последствиями. Головные гидротехнические овражные сооружения могут быть самыми разнообразными как по конструкции, так и по материалам, из которых их строят. В вершинах оврагов часто строят быстротоки, перепады и консольные сбросы, которые называются сопрягающими сооружениями, показаны схемы этих сооружений. Отмечено интересное инженерно-экологическое направление использования утилизированных отходов при конструировании противоэрозионных сооружений.*

Ключевые слова: *овраг, эрозия, гидротехническое сооружение, процесс, ресурс, канал, экосистема, вода.*

Как отмечают В.Т.Трофимов и Д.Г.Зилинг [1], принципиально важным признаком выделения группы опасных процессов является положение о том, что они оказывают непосредственное воздействие (механическое, химическое и др.) на абиотическую составляющую экосистемы и только опосредованно, через ее изменение или разрушение, на флору, животные организмы и человека. Так опосредованное воздействие может приводить к необходимости отнесения крупных территорий к зоне экологического бедствия

или катастрофы, обусловить многочисленные жертвы, включая человеческие, в результате голода, инфекционных заболеваний, разрушения и захоронения стационарных поселений. Опасные процессы приводят к бедствиям регионального, планетарного, редко локального масштабов. Именно с этой группой процессов связаны потери качества и самого ресурса геологического пространства в региональных масштабах.

Развитию овражной эрозии прежде всего способствует широкое распространение покровных отложений, представленных пылеватыми супесями и суглинками, реже песками.

Овражная эрозия оказывает большое влияние на изменение окружающей среды. Расчленив территорию, овраги делают ее неудобной для хозяйственной деятельности, строительства и сельскохозяйственных работ. Наиболее значимым экологическим последствием проявления овражной эрозии является сокращение площади сельскохозяйственных угодий, особенно пашен и садов, и снижение плодородия почв в зоне нарушения их влажностного режима. Опосредованное воздействие процесса линейной эрозии на человека выходит за рамки дискомфорта проживания и может квалифицироваться как кризисное и требующее безотлагательных масштабах природоохранных мероприятий. Овражная эрозия – типичный процесс, приводящий к локальной потере ресурса геологического пространства со всеми вытекающими отсюда экологическими последствиями.

Конструкциям гидротехнических противоэрозионных сооружений и их проектированию посвящены монографии П.М. Степанова, И.Х. Овчаренко, П.С. Сахарова [2], А.Г. Рожнова [3], М.Д. Волощука, А.Н. Джемелинского [4] и другие.

Опытным путем определены значения наибольших допускаемых неразмывающихся скоростей, выше которых начинаются размывы. Эти значения зависят от грунта, из которого сложено русла потока; размеров этого русла; наличия в воде взвешенных глинистых частиц. Таким образом, размывы местности определяются скоростью потока на данном участке, механическими свойствами грунта, формой и размерами русла. Максимальный предел скорости, выше которого начинается размыв, обозначают $v_{разм.}$. Если скорость потока $v < v_{разм.}$, деформация русла не должен наблюдаться.

Задача гидротехнических противоэрозионных сооружений – предотвратить возникновение первоначальных размывов на таких участках или же, если овраг уже образовался, приостановить его дальнейшее развития.

Профиль оврага схематически изображен на рисунке 1. На участке I уклон незначительный, скорости в связи с этим малы и не достигают размывающих значений. С увеличением уклона (участок II – вершинная часть оврага) скорости потока возрастают, достигая максимума в конце вершинной части. Далее, на участке III, уклон уменьшается, за счет чего снижается и скорость.

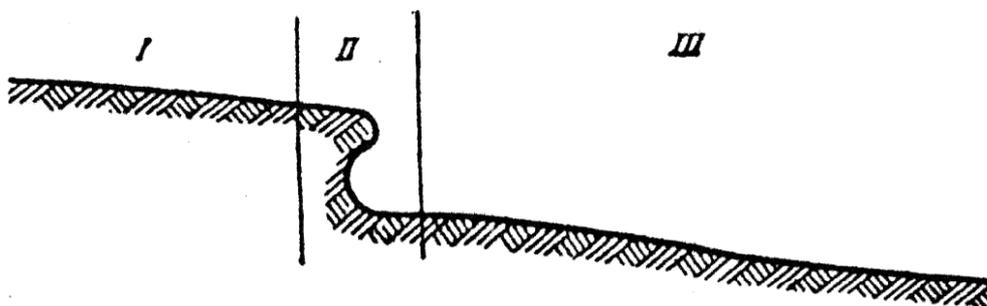
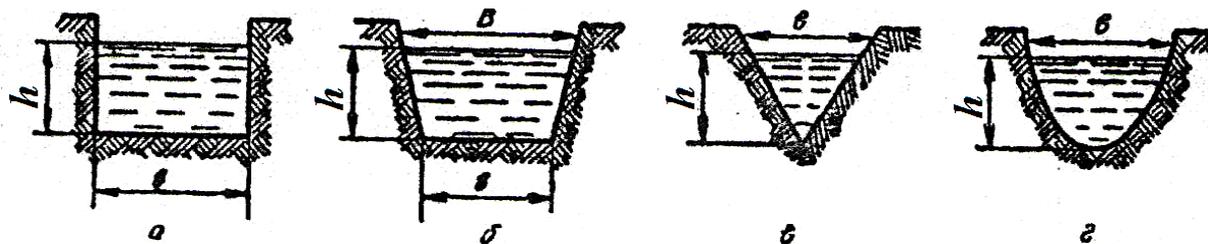


Рисунок 1 – Продольный профиль оврага

Прежде чем перейти к рассмотрению мер по укреплению вершинной части оврага, перечислим некоторые гидравлические параметры, которые необходимы для расчета различных противоэрозионных сооружений.

Русла могут быть искусственными (каналы, лотки) и естественными (русла рек, овраги и т.д.). Если геометрические размеры русла не изменяются по длине, то такое русло называется с постоянным сечением, в противном случае русло называют с переменным сечением, Русла бывают правильной формы (с прямоугольные, трапециевидные, треугольные и др.) и неправильной (естественной) формы (рисунок 2 и 3). Вода в русле движется под действием сил тяжести, внешнего давления, сопротивления и других сил, которые обычно известны. Неизвестны, как правило, давление внутри жидкости и скорость течения. Кроме того, происходит трение между водой и ложем русла. Силы внутреннего и внешнего трения оказывают сопротивление потоку, то есть уменьшают скорость движения воды. Путь, пройденный частицей жидкости в единицу времени, называется скоростью.



а) прямоугольная; б) трапециевидная; в) треугольная; г) параболическая

Рисунок 2 – Формы русла

Скорость движения воды зависит от основных гидравлических элементов русла и от уклона поверхности воды. Поперечное сечение потока, проведенное нормально к направлению движения, называется смоченным λ .

Отношение площади живого сечения к смоченному периметру называется гидравлическим радиусом R .



Рисунок 3 – Русло оврага

Говоря о скорости, обычно имеем в виду среднюю скорость в живом сечении, т.е. условие принимается, что во всех точках живого сечения скорости одинаковы. В действительности в каждой точке живого сечения скорости изменяются в зависимости от ее расположения по отношению к стенкам и дну русла, а также во времени. Как правило, скорости уменьшаются от середины русла к стенкам и от поверхности к дну.

При одном и том же расходе в данном створе русла скорости могут иметь разные значения в зависимости от глубины потока: при больших глубинах скорости уменьшаются, при малых увеличиваются. Скорость в точке потока в данный момент времени называется *мгновенной*. Изменение ее во времени называется *пульсацией* скорости.

Внутреннее давление, возникающее при движении жидкости и отнесенное к единице площади поперечного сечения потока, называется *гидродинамическим давлением*.

Если гидродинамическое давление и скорость жидкости изменяются во времени, то движение называется *неустановившимся*. Такое движение воды наблюдается при накоплении и опорожнении водохранилищ, в реках и т.д.

Если скорость и давление в жидкости не изменяются с течением времени, то такое движение называется *установившимся*, например, движение воды в каналах при постоянном уровне, истечение из отверстий и водосливов при постоянном напоре и т.д.

Движение жидкости может быть *безнапорным* и *напорным*. Безнапорным называется движение потока со свободной поверхностью. Оно происходит под действием силы тяжести. Примером может служить движение воды в реках и каналах. Под напорным понимают движение потока без свободной поверхности. В качестве примера можно называть движение воды в трубе, сплошь заполненной потоком.

Основной расчетной формулой для установившегося равномерного движения воды в открытых руслах является формула средней скорости потока, предложенная в 1775 г. французским инженером Шези. Она имеет вид

$$v = \omega C \sqrt{Ri}, \quad (1)$$

где v – средняя скорость потока; R – гидравлический радиус; i – уклон дна;
 C – коэффициент Шези.

Умножив среднюю скорость на площадь живого сечения, получим формулу расхода:

$$Q = \omega C \sqrt{Ri}, \quad (2)$$

где ω – площадь живого сечения потока.
Если обозначим

$$K = \omega C \sqrt{R}, \quad (3)$$

то формулу расхода можно записать так:

$$Q = K \sqrt{i}, \quad (4)$$

где K – расходная характеристика.

Исходными данными для проектирования искусственных русел являются: продольный профиль трассы канала, определяющий уклон дна будущего русла; материалы отделки откосов и дна русла; характер грунта и назначение канала, позволяющие назначать коэффициент заложения откосов.

При проектировании задают размеры поперечного сечения, а затем ведут гидравлический расчет.

При выборе размеры поперечного сечения канала учитывают следующие факторы: расход воды, назначение канала, экономическую эффективность, организацию и механизацию проведения работ, условия эксплуатации и т.д.

При гидравлическом расчете каналов важно знать средние скорости течения, которые устанавливаются в канале при пропуске заданных расходов. Они не должны вызывать размыв и заиление русла и зарастание канала сорной растительностью.

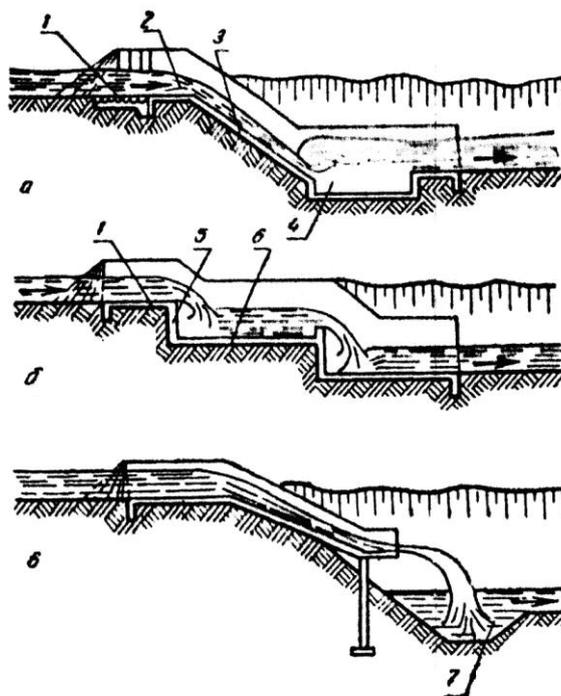
Неравномерное движение воды наблюдается в зоне влияния гидротехнических сооружений, при расширении и сужении русла, изменении уклона дна канала, в зоне повышенной шероховатости и т.д.

При увеличении уклона дна канала, вызванного понижением местности, возникает ускоренное движение, характеризующиеся увеличением средней скорости и уменьшением глубин. При этом свободная поверхность имеет форму кривой спада.

Головные гидротехнические овражные сооружения могут быть самыми разнообразными как по конструкции, так и по материалам, из которых их строят.

Тип гидротехнического сооружения в вершине оврага зависит от многих факторов: рельефа местности, глубины оврага, площади водосбора, долговечности сооружения и т.д. Эти же факторы учитываются при выборе строительных материалов.

В вершинах оврагов часто строят быстротоки, перепады и консольные сбросы, которые называются сопрягающими сооружениями. Схемы этих сооружений показаны на рисунке 4.



а) быстроток; б) перепад; в) консольный сброс; 1- понур; 2- вход; 3- быстроток; 4- водобойный колодец; 5- стенка падения; 6- ступень; 7 – воронка размыва

Рисунок 4 – Виды головных овражных сооружений

По условиям движения потока сопрягающие сооружения можно разделить на две группы. К первой группе относятся те, в которых вода на некотором пути движения, не отрываясь от сооружения, а на остальном пути падает свободно в воздухе. Это перепады и консоли. Вторую группу составляют сооружения, по которым вода движется, не отрываясь от него на всем протяжении. Это в основном быстротоки и трубы. Трубчатые закрытые сооружения в последнее время получили широкое распространение. В нижнем бьефе они могут дополняться отбрасывающими устройствами: трамплином, уступом и т.д. Конструкции сопрягающих сооружений очень разнообразны. В практике устройства сбросных сооружений применяют различные конструкции входной и выходной частей и водопроводящего тракта.

Гидротехнические сооружения служат для транспортировки потока с высоких отметок местности на более низкие по неразмываемому руслу (участок II, рисунок 1) и для гашения избыточной энергии в непосредственной близости от сооружения (участок III).

Надо отметить интересное инженерно-экологическое направление использования утилизированных отходов при конструировании противэрозионных сооружений. К таким отходам относятся утилизированные автопокрышки и отслужившие свой срок железобетонные шпалы.

Список литературы

1. Трофимов, В.Т. Экологическая геология / В.Т. Трофимов, Д.Г. Зилинг. – М. : Геоинформмарк, 2002. – 415 с.
2. Степанов, П.М. Гидротехнические противозерозийные сооружения / П.М. Степанов [и др.]. – М. : Колос, 1980, 144 с.
3. Рожнов, А.Г. Борьба с оврагами / А.Г. Рожнов. – М. : Колос, 1981. – 200 с.
4. Волощук, М.Д. Овраги и меры борьбы с ними / М.Д. Волощук, А.Н. Джемелинский. – Кишинев : Картя Молдовенэско, 1975. – 106 с.

ON THE PURPOSE OF ANTI-EROSION STRUCTURES IN THE TOPS OF RAVINES

F. G. GABIBOV, L. F. HABIBOVA

farchad@yandex.ru

*Azerbaijan Research Institute of Construction and Architecture,
Baku, Azerbaijan*

Abstract. *Gully erosion is a typical process that leads to a local loss of the resource of geological space with all the environmental consequences that follow from this. Head hydraulic engineering gully structures can be very diverse both in design and in the materials from which they are built. In the tops of ravines, rapid flows, drops and cantilever discharges are often built, which are called mating structures, diagrams of these structures are shown. An interesting engineering and environmental direction of the use of recycled waste in the design of anti-erosion structures is noted.*

Key words: *ravine, erosion, hydraulic structure, process, resource, channel, ecosystem, water.*

УДК 504.05

ВОЗМОЖНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОПАСНОСТИ ПРИ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОМ ОСВОЕНИИ ЛАНДШАФТОВ ГОРНОЙ КРИОЛИТОЗОНЫ (НА ПРИМЕРЕ УДОКАНСКОГО МЕДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ)

А. П. КУЛАКОВ

cryolithozone@mail.ru

*Институт геоэкологии имени Е. М. Сергеева РАН,
г. Москва, Россия*

Аннотация. *В научной работе рассмотрены опасные геологические процессы, влияющие на горнопромышленное освоение мерзлотных ландшафтов горной криолитозоны. Проведена экспертно-аналитическая оценка на основе ведущих мерзлотно-ландшафтных показателей. Выявлены основные геологические процессы, преобладающие на территории месторождения. Проведенное исследование может служить основой для планирования природоохранной деятельности на горных участках с многолетнемерзлыми породами в осваиваемом горнопромышленном регионе.*

Ключевые слова: геоэкологическая оценка, экзогенные геологические процессы и явления, горнопромышленные ландшафты, горная криолитозона, Северное Забайкалье, хребет Удокан, Удоканское медное месторождение.

Введение. Территория исследования расположена в Каларском округе Забайкальского края (Северное Забайкалье).

Лицензионные горнопромышленные участки неразработанного Удоканского месторождения меди (оператором проекта является компания «Удоканская медь») и строящегося горно-металлургического комбината «Удокан» (начнет переработку медной руды ориентировочно с лета 2022 года) [2], сосредоточены в 30 км на юг от поселка городского типа Новая Чара (административный центр округа) и одноименной станции Байкало-Амурской магистрали.

По разведанным данным месторождение меди, рассчитанное на семидесятилетний срок эксплуатации, является крупнейшим в России и третьим в мире с запасами 26,7 млн. тонн меди (попутно 32,8 тыс. тонн серебра) и 1,05 % содержанием меди в руде в соответствии с классификацией *JORC*. Добыча медной руды будет осуществляться традиционным открытым методом, а для разрыхления будут проводиться буровзрывные работы [2].

На территории месторождения уже полностью спроектированы и частично организованы несколько хвостов обогащения руды, отвалы вскрышных пород, карьеры, площадки для кучного выщелачивания забалансовых руд, подъездные автомобильные дороги и мосты, линии электропередач, дробильные установки и многие другие объекты сопутствующей инфраструктуры [2].

В физико-географическом понимании горнопромышленные ландшафты приурочены к северной части хребта Удокан, входящей в общую систему Станового нагорья и гор Южной Сибири.

Особенность горных ландшафтов территории исследования заключается в крайне суровых метеорологических условиях территории, где широкое распространение получили многолетнемерзлые породы.

Горные ландшафты хребта Удокан характеризуются сплошным распространением многолетнемерзлых пород (ММП) с наличием незамерзающих участков (редкие несквозные таликовые зоны), а мощность ММП может достигать 500 м на склонах, и 900 м на вершинных поверхностях [1].

Специфика и неоднородность горных ландшафтов предопределяются существенными различиями в преобладающих экзогенных геологических процессах, влияющих на прогнозирование опасных процессов и развитие криогенных ландшафтов под влиянием антропогенных воздействий.

Тем временем различные характеристики компонентов ландшафта определяют степень повторяемости и скорость экзогенных геологических процессов и возникающих явлений на дневной поверхности ландшафта.

Криогенные ландшафты, расположенные в горных условиях, обладают повышенной уязвимостью к любым формам хозяйственной деятельности, способные вызвать опасные геологические процессы даже в результате однократного и непродолжительного воздействия, особенно при значительном изменении одного из компонентов ландшафта, что нередко ведет к необратимой перестройке его структуры.

Снятие растительного покрова или преобразование рельефа поверхности приводит к активизации новых вещественно-энергетических связей и резким изменениям скорости преобладающих процессов, особенно в условиях уязвимых структурно-парагенетических ландшафтов, обладающих набором «благоприятных» характеристик для возникновения опасных ситуаций в пределах расположения горнопромышленной инфраструктуры.

Мерзлотные ландшафты горной криолитозоны требуют особого внимания и подхода в изучении межкомпонентных связей для возможного краткосрочного или долгосрочного прогноза и развития данных ландшафтов под влиянием антропогенных воздействий.

При освоении территории важно уделять внимание изучению специфики ландшафтов, их структуры, функционирования и возможных опасных геологических процессов, приводящих к нарушению и выведению из строя объектов инфраструктуры.

Изучение ландшафтов горной криолитозоны и их структурно-функциональных особенностей на территории месторождения будет способствовать пониманию распространения опасных геологических процессов на осваиваемых участках, а также выделению (картированию) неустойчивых участков и дальнейшему планированию соответствующих природоохранных мероприятий при освоении месторождения и расположения объектов инфраструктуры.

Материалы и методы исследования. В процессе исследования территории Удоканского медного месторождения и сопредельных участков были использованы разные полевые и дистанционные методы ландшафтно-геоэкологических исследований.

В ходе полевых исследований применялся метод комплексного ландшафтно-геоэкологического описания, включающий рекогносцировочные обходы и маршрутные наблюдения на ключевых участках исследования с описанием представительных и редких морфологических частей ландшафта (простых и сложных ландшафтных урочищ).

С помощью метода ландшафтной индикации фиксировались и описывались проявления экзогенных геологических процессов, в том числе осуществлялась индикация мерзлотных условий. Дополнительные данные о характере глубины сезонного оттаивания были получены с помощью инструментального метода (почвенного щупа).

В лабораторных условиях проводился поиск и анализ фондовых и опубликованных источников, а также применялся метод дистанционного зондирования Земли, включая дешифрирования космических снимков. В пределах выделенных неоднородных участков устанавливались ландшафтно-индикационные признаки и межкомпонентные связи.

Имеющаяся ранее информация по территории исследования дополнила полученные практические полевые данные о состоянии мерзлотных горных ландшафтов и протекающих в них процессов.

Экспертно-аналитическая оценка возможных опасных геологических процессов основывалась на собранных и изученных мерзлотно-ландшафтных показателях, таких как форма дневной поверхности и особенности микрорельефа (выраженные явления на поверхности), литолого-генетический состав пород, льдистость, температура и мощность сезонно-талого слоя, особенности почвенно-растительного покрова.

Результаты исследования и их обсуждение. На территории исследования проявляются два активных современных рельефообразующих процесса – эндогенный и экзогенный.

Эндогенные процессы выражаются в неотектонических движениях (рифтовые зоны с интенсивным колебанием) и высокой сейсмической активностью территории. Сейсмичность территории составляет 9 – 12 баллов (шкала МСК-94). Если вероятность землетрясения силой 10 и более баллов в течение 50 лет равняется 1 %, то вероятность землетрясения силой 9 баллов уже равняется 10 % (карта ОСР-97). Повышенная сейсмичность, приуроченная в основном к зонам сочленения тектонических структур (рвы, уступы, седловины, зоны трещиноватости, прямолинейные долины), нередко выражается гравитационно-склоновыми процессами в виде осыпей, обвалов, камнепадов, а также активизациями лавинных процессов и стремительных селевых потоков при землетрясении. В целом это касается крутых склонов вершинных поверхностей, включающие острые полуразрушенные гребни и вершины, стенки сохранившихся цирков и каров, а также боковых притоков и водосборных воронок.

Прошлые и современные геологические процессы предопределили основные направления развития территории по двум крупным морфоструктурам, подразделив их (по положению в рельефе, отложениям и преобладающим современным процессам) на области преимущественной денудации и аккумуляции.

Эрозионно-тектонические поверхности (область преимущественной денудации) можно поделить на три структурно-функциональных уровня – высокогорный, среднегорный и низкогорный.

Высокогорный уровень (около 2000 м) характеризуется преобладанием крутых склонов (более 30°) с альпинотипными и гребневидными формами рельефа с наличием эрозионно-денудационных форм (вогнутые ложбины, промоины, серия мелких борозд), которые является местом аккумуляции и транзита лавинных, селевых, обвально-осыпных потоков и образования нивальных ниш и снежных покровов. Широко развиты вогнутые водосборные воронки и древние полуразрушенные кары с осыпными конусами и шлейфами. По приблизительным оценкам подверженность постоянным экзогенным геологическим процессам составляет половины территории. Наиболее высокие скальные водоразделы без растительного покрова, сопровождаются активным физическим морозным выветриванием по типу фрактолизации (на крупные блоки глыба и щебня) и дальнейшему курумобразованию. По выраженным обвально-осыпным конусам и шлейфам отмечено, что скорость выветривания на склонах южной экспозиции выше примерно в 1,5 раза, чем на склонах северной экспозиции. Большинство лавин приурочено к эрозионным врезам (зоны транзита временных дождевых и талых водотоков) и узким перевальным ущельям. Селевые потоки и лавины способны разрушить проходящую вдоль склона линейную инфраструктуру (дороги, линии электропередач) и образовать подпор нижележащей долины. Активизация опасных геологических процессов происходит в результате подрезки склонов, где возникают осыпные процессы, частичные обрушения горных пород и отседания глыб. Выход надмерзлотных вод на поверхности, где расположены объекты инфраструктуры, сопровождается частичным подтоплением территории и возникновением новых эрозионных форм рельефа.

Участки среднегорий (1600 – 2000 м) имеют также сильно и глубоко расчлененные поверхности, но уже с меньшей крутизной склонов (до 30°) с широким развитием гольцовых форм с выположенными карами и водосборными воронками. Здесь проявляется альтипланиация территории с образованием нагорных террас. Некоторые участки автомобильных дорог серпантинами проложены через курумные склоны (десерпционные глыбово-щебнистые плащи), соединяя стационарные объекты инфраструктуры месторождения между собой. По наблюдениям таких участков были отмечены эрозионные формы (борозды) наряду с оползание отдельных крупных глыб, а также частичное вытаивание гольцового льда и водопроявление на дорогах.

Участки низкогорий (до 1600 м) характеризуются преобладанием гольцовых вершинных поверхностей и присутствием нагорных террас со слабо и неглубоко расчлененными склонами средней крутизны (меньше 25°). На таких преимущественно вогнутых и прямых поверхностях курумные плащи с отсутствием растительного покрова занимают более 50 % территории с практическим отсутствием каровых, обвально-осыпных, лавинных и селевых форм рельефа.

Процесс курумобразования здесь (как и на других денудационных поверхностях) подразделен на две крупные формы в виде каменных полей (преобладающая форма в пределах территории исследования) и каменных потоков (преимущественно по вогнутым формам).

На курумных склонах, хранящих в себе высокую внутреннюю льдистость, существует опасность возникновения термоденудации в связи с возможным тепловым и механическим антропогенным влиянием.

В целом на всех склонах в условиях гольцового пояса преимущественно развиваются криогенно-склоновые и водно-эрозионные процессы. Наиболее активное смещение рыхлого материала в результате криогенной десерпции происходит на уклонах 10° – 30°, но также важно учитывать, что максимальная активизация характерна в период постоянных дождей и высоких температур воздуха, когда идет максимальное протаивание многолетней льдистости пород. На таких участках, где льдистость становится меньше, а температура и увлажнение пород увеличиваются, при нарушении почвенно-растительного покрова и протаивании верхнего слоя мерзлоты активизируется скорость мерзлотно-склоновых процессов и повышается риск нарушения объектов инфраструктуры месторождения.

Скорость процессов во многом зависит и от экспозиции (инсоляции) поверхности склонов, особенно в летний период, а также от переходов поверхностных температур через ноль градусов (преимущественно в осенне-весенний период). Предполагаемая разница существенно влияет на динамику преобладающих геологических экзогенных процессов, а также на мерзлотные характеристики самих ландшафтов.

Аккумулятивные поверхности (области преимущественной аккумуляции) сосредоточены во внутригорных впадинных, речных долинах, пролювиальных конусах, моренных и зандровых комплексах.

Моренные комплексы наряду с флювиогляциальными поверхностями имеют дифференцированный состав поверхностных отложений. Наличие в моренных отложениях суглинистых пород способствует распространению термокарстовых форм рельефа. Отмечается, что при техногенном освоении моренных комплексов нередко усиливаются термокарстовые процессы, сопровождающиеся дальнейшим заболачиванием понижений, а при снятии растительного покрова возникает опасность развития термоэрозии (промоин) на склонах.

Выходы подмерзлотных вод наряду с переувлажненными поверхностями способствуют распространению сезонных бугров пучения, а поверхностные воды нередко образуют на участках дороги эрозионные формы рельефа (борозды, промоины), где активно размывается полотно дороги временными водотоками (рисунок 1).



Рисунок 1 – Размыв полотна дороги временными водотоками [фото автора]

Русла рек, поймы и надпойменные террасы (у крупных рек) характеризуются наличием таликовых зон с активным проявлением наледных процессов. Высокое увлажнение способствует развитию сезонного криогенного пучения (миграционное и инъекционное), а тонкодисперсные льдистые отложения развитию термокарстовых форм рельефа.

Освоение участков долинных полигональных поверхностей может привести к активизации вытаивания существующих повторно-жильных льдов на пойменных оторфованных суглинисто-супесчаных отложениях, заболачиванию и усилению эрозионно-термокарстового расчленения территории. Возникает опасность увеличения скоростей преобладающих процессов и возникновению новых.

Вывод. Большое количество опасных экзогенных геологических процессов значительно усложняет освоение месторождения.

На территории исследования широкое распространение получили мерзлотно-склоновые процессы на эрозионно-тектонических поверхностях, а также мерзлотные и водно-эрозионные процессы на аккумулятивных поверхностях.

Вдоль объектов инфраструктуры отмечаются процессы таяния гольцового льда в десерпционных глыбово-щебнистых накоплениях, а также проявления надмерзлотных вод, размывающих участки дорог.

Процесс курумообразования из-за его площадного доминирования является одним из опасных геологических процессов на территории месторождения и требует более детального изучения в связи с антропогенными изменениями.

Список литературы

1. Геокриологические условия Забайкальского Севера / АН СССР. Сиб. отд-ние. Ин-т мерзлотоведения // Отв. ред. Н.А. Граве, И.А. Некрасов. – М. : Наука, 1966. – 216 с.
2. Официальный сайт компании «Удоканская медь» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.bgk-udokan.ru/>.

POSSIBLE GEOLOGICAL HAZARDS IN THE MINING DEVELOPMENT OF THE MOUNTAIN CRYOLITHOZONE LANDSCAPES (ON THE EXAMPLE OF THE UDOKAN COPPER DEPOSIT)

A. P. KULAKOV

cryolithozone@mail.ru

*Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS,
Moscow, Russia*

Abstract. *In the scientific work, dangerous geological processes affecting the mining development of permafrost mountain landscapes are considered. An expert and analytical assessment was carried out on the basis of the leading permafrost and landscape indicators. The main geological processes prevailing on the territory of the deposit have been identified. The conducted research can serve as a basis for planning environmental protection activities in mountainous areas with permafrost in the developed mining region.*

Key words: *geoecological assessment, exogenous geological processes and phenomena, mining landscapes, mountain cryolithozone, Northern Transbaikalia, Udokan ridge, Udokan copper deposit.*

УДК 622.062:551.43:574:550.347.6

ВЛИЯНИЕ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

Т. А. МЕЛЕЖ

Tatyana.melezh@mail.ru

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

Аннотация. *В статье рассмотрено влияние открытых горных выработок на геоэкологическое состояние геологической среды. Выявлены опасные инженерно-геологические процессы и явления, проявляющиеся при добыче твёрдых полезных ископаемых карьерным способом. Приведена классификация инженерно-геологических процессов при строительстве горных выработок и классификация инженерно-геологических процессов при эксплуатации горных выработок.*

Ключевые слова: *геологическая среда, твердые полезные ископаемые, опасные процессы, мониторинг, рекультивация.*

Месторождения полезных ископаемых, представляют собой объекты активного техногенного воздействия на геологическую среду и являются сложными в геоэкологическом отношении. Это обусловлено следующими причинами:

1. Разнообразием видов добываемых ресурсов.
2. Горнодобывающие комплексы влияют на все компоненты природной среды.
3. Многообразием систем использования природных ресурсов земных недр, которые включают карьерные виды разработки, шахтные, проходку скважин и другие.
4. Комплексной трансформацией геологической среды, которая охватывает большие пространства и затрагивает все компоненты геологической среды, в том числе относительно глубокие зоны литосферы.
5. Длительной эксплуатацией месторождений, что приводит, к глубоким и необратимым преобразованиям геологической среды.

Добыча полезных ископаемых открытым способом оказывает значительное техногенное воздействие на геологическую среду, и всё это может спровоцировать проявление и развитие опасных инженерно-геологических процессов и явлений [1]:

- деформация в бортах карьеров может привести к активизации гравитационных процессов – оползни, осыпи и прочее;
- деформация откосов отвалов и подстилающих пород;
- иссушение территории, в следствии изменения уровня грунтовых вод;
- активизация карстовых и суффозионных процессов, в пределах территорий, сложенных рыхлыми легкоразмываемыми толщами;
- активизация склоновых, делювиальных процессов – смыв со склонов значительных объемов рыхлого материала;
- фильтрационное уплотнение грунтов;
- развитие процессов механического выветривания: дефляция, денудация, приводящие к существенной дезинтеграции горных пород.

Воздействие горных выработок – карьеров, на геологическую среду вызывает перестройку многих инженерно-геологических процессов (рисунки 1, 2).

Также, открытые горные выработки, охватывающие значительные площади ведут к трансформации рельефа дневной поверхности, что может выражаться в нивелировании и моделировании поверхности в результате планировки застраиваемых площадей, сельскохозяйственной обработки и плоскостного смыва почв. На ограниченных площадях техногенное влияние приводит к увеличению дифференциации рельефа, созданию крупных форм, как положительных (отвалы), так и отрицательных (выемки, карьеры и прочее).

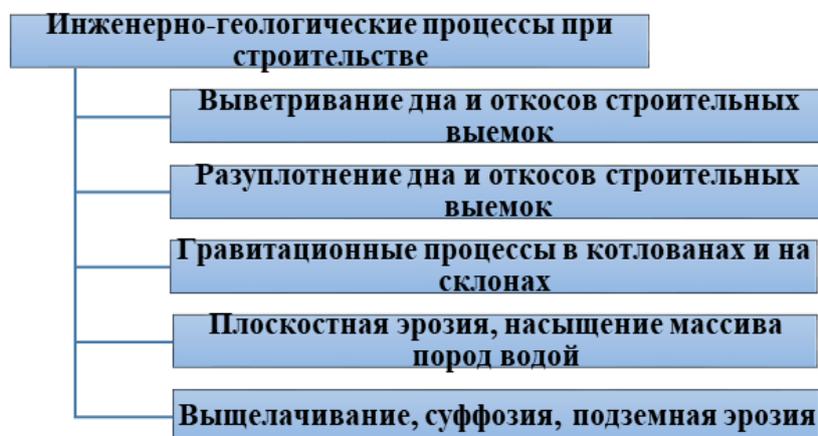


Рисунок 1 – Классификация инженерно-геологических процессов при строительстве горных выработок (составлено автором по данным [1])



Рисунок 2 – Классификация инженерно-геологических процессов при эксплуатации горных выработок (составлено автором по данным [1])

К основным видам техногенного воздействия на геологическую среду при разработке карьеров относятся:

- изъятие природных ресурсов (земельных, водных);
- загрязнение воздушного бассейна поллютантами (выбросы газообразных и взвешенных частиц);
- шумовое воздействие;
- преобразование рельефа местности, и как правило это формирование крупных отрицательных форм (открытые горные выработки – карьеры), а также на примыкающих территориях формируются колоссальные положительные элементы, в виде отвалов, шлама и отработанных материалов;
- изменение гидрогеологических условий площадки строительства горной выработки и прилегающей территории;
- загрязнение геологической среды в пределах землеотвода образующимися отходами и сточными водами;
- изменение комфортности жизни населения.

Воздействие на территорию, где планируется сооружение горного объекта оценивается такими критериями как: размер изымаемой для размещения объекта площади, категория изымаемых земель, изменение состояния нарушаемых почво-грунтов, образование новых форм рельефа как положительных, так и отрицательных (котлованы, отвалы). Воздействие на геологическую среду определяется глубиной разработки и возможными осложнениями (затопление подземными водами, развитием экзогенных процессов). Нагрузка на геологическую среду, в целом, и её отдельных компонентов, достаточно существенна. Например, система поверхностных и подземных вод при проведении работ по добыче полезного ископаемого может подвергнуться загрязнению, как в пределах почво-грунтов, так и в зоне аэрации. Здесь, поллютантами выступают отходы производства и сточные воды. Для оценки геоэкологического воздействия определяются объемы формируемых сточных вод и отходов производства и потребления, и рациональная схема водопотребления и водоотведения и обращения с твердыми отходами.

По окончании горно-геологических работ необходимо проведение мероприятий по рекультивации нарушенных земель, основными направлениями которых являются: сельскохозяйственная рекультивация земель, предполагающая создание на нарушенных землях пашни, лугов и пастбищ, садов и ягодников; лесохозяйственная рекультивация, заключающаяся в создании лесонасаждений эксплуатационного и хозяйственного назначения; водохозяйственная рекультивация, состоящая в создании водоемов различного

целевого назначения; селитебно-промышленная рекультивация, подразумевающая различные виды инженерного освоения территорий (промышленное, жилищное, капитальное, дачное и другие виды строительства); рекреационная и санитарно-гигиеническая рекультивация, состоящая в создании зон отдыха, парковых насаждений, консервации и озеленение отвалов. Указанные мероприятия будут способствовать восстановлению естественной среды природных ландшафтов.

Таким образом, добыча полезных ископаемых карьерным способом приводит к ряду геоэкологических проблем: загрязнению атмосферного воздуха различными поллютантами в результате взрывных работ; вскрытию водоносных горизонтов и снижение в них напоров грунтовых вод; проникновению минерализованных растворов в пресные подземные воды и их засоление; выводу из хозяйственного оборота крупных земельных участков.

Список литературы

1. Губин, В.Н. Экология геологической среды: Учеб. пособие / В.Н. Губин [и др.]. – Мн. : БГУ, 2002. – 120 с.

THE INFLUENCE OF OPEN-PIT MINING ON THE GEOECOLOGICAL STATE OF THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT

T. A. MELEZH

Tatyana.melezh@mail.ru
Francisk Skorina Gomel State University,
Gomel, Belarus

Abstract: *the paper considers the influence of open-pit mining on the geoecological state of the geological environment. Dangerous engineering-geological processes and phenomena that manifest themselves during the extraction of solid minerals by the quarry method have been identified. The classification of engineering-geological processes in the construction of mine workings and the classification of engineering-geological processes in the operation of mine workings is given.*

Key words: *geological environment, solid minerals, hazardous processes, monitoring, reclamation.*

УДК 546.48:594.381.5:627.157:556.5(476.2-21Гомель)

ИЗУЧЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ КАДМИЯ В МЯГКИХ ТКАНЯХ ПРУДОВИКА И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВОДОЕМОВ ГОРОДА ГОМЕЛЯ И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

Т. В. МАКАРЕНКО, А. Г. ПАРФЕНКОВА

tmakarenko1968@bk.ru, N.Parfenkova@mail.ru
Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины,
г. Гомель, Беларусь

Аннотация. *Для оценки доступности соединений кадмия в абиотических компонентах водных экосистем можно использовать прудовика обыкновенного, который имеет опосредованную связь с донными отложениями через водные растения. Высокое*

содержание металла в донных отложениях и мягких тканях моллюсков водоемов, не испытывающих видимой антропогенной нагрузки, требует дальнейшего более детального изучения. Низкое содержание металла в мягких тканях прудовика в водоемах с загрязненными донными отложениями может объясняться работой механизма блокировки поступления тяжелых металлов в организмы моллюсков. Высокое содержание соединений кадмия у особей прудовика, отобранных на участке р. Сож ниже административной черты г. Гомеля, свидетельствует о влиянии поверхностного стока города на экосистему р. Сож.

Ключевые слова: тяжелые металлы, гидробионты, моллюски, биосфера, донные отложения, аккумуляция, мягкие ткани.

Введение. Контроль по содержанию соединений металла в окружающей среде имеет важное экологическое значение. Действие тяжелых металлов проявляется на всех уровнях организации биологических систем: от молекулярно-биохимического до биоценотического. Токсическое действие металлов многозначно, так как тяжелые металлы являются протоплазматическими ядами для всех живых объектов: грубо нарушают структуры коллоидных систем, подвергают денатурации белки. При незначительных концентрациях соединения тяжелых металлов связывают и блокируют активные центры ферментов [4]. Как правило, содержание соединений тяжелых металлов в воде ниже, чем в донных отложениях, что определяет их быстрый переход из растворенного состояния во взвеси, обладающие высокой сорбционной способностью. Поэтому донные отложения накапливают химические загрязнители, присутствующие в воде. В то же время накопление тяжелых металлов в донных отложениях в значениях, превышающих фоновые показатели, представляет опасность для качества состояния водных экосистем, вследствие возможного выноса микроэлементов из донных отложений в доступных для биоты формах [5]. Использование брюхоногих моллюсков в качестве биоиндикаторов подвижных форм в водных экосистемах связано с их способностью накапливать в тканях различные вещества, в том числе и тяжелые металлы. Чаще всего при биомониторинге загрязнения тяжелыми металлами водных экосистем брюхоногих моллюсков используют в качестве биоаккумуляторов, определяя непосредственно содержание тяжелых металлов в их тканях и раковинах [3]. Поэтому актуальной задачей является получение сведений о содержании металлов в воде, донных отложениях и гидробионтах.

Материалы и методы исследования. В качестве объектов исследования были выбраны донные отложения водных экосистем г. Гомеля и прилегающих территорий и представитель класса брюхоногих моллюсков – прудовик обыкновенный – *Lymnaea stagnalis* L. Прудовик обыкновенный обитает в прибрежной части постоянных (реже временных) стоячих и слаботекущих водоемов на растительности. Питается прудовик, объедая листья макрофитов и соскабливая налет водорослей, иногда поедает мелких беспозвоночных [2]. В организм гидробионтов тяжелые металлы попадают с пищей или через покровы.

Для исследования были выбраны водные экосистемы с различной антропогенной нагрузкой: оз. Дедно, Шапор, Володькино, Малое, Волотовское, У-образное, старица р. Сож. Озеро Володькино представляет собой водоем, возникший в результате расширения коренного русла р. Сож в месте впадения в него р. Ипать. Озеро Дедно – пойменный водоем контактирует через земляную дамбу с водоемом-«отстойником», принимающим стоки некоторых предприятий города, имеет связь с коренным руслом р. Сож, находится в черте города Гомеля. Озеро Шапор является старым руслом р. Сож, в настоящее время представляющее ответвление от основного русла, находится в черте города Гомеля. Оз. У-образное принимает стоки Прудковского рынка, автостоянки и автомагистрали. Значительное влияние на водную экосистему города оказывает предприятие ОАО «Гомельский химический завод», перерабатывающий сырье, поступающее на завод с различных горнодобывающих площадок. Старичный комплекс, расположенный

выше города по течению на 10 км, загрязняется только воздушными массами Гомельской городской агломерации, а также водой р. Сож, с которой контактирует через небольшой перешеек, в большей степени в момент снеготаяния, половодий и при обильных дождях. Стоит отметить, что вокруг нет сельскохозяйственных угодий, не производится выпас скота, но, как известно, в водоемах с минимальной антропогенной нагрузкой биологически живые организмы могут накапливать токсиканты в концентрациях превышающие в загрязненной зоне [6].

Для оценки влияния поверхностных стоков с территории г. Гомеля на водную экосистему р. Сож для исследования были выбраны участки реки ниже административной черты города в р-не Гомельской объездной автомагистрали, а также значительно ниже черты города в р-не д. Ченки. Данные водоемы широко используются населением для проведения культурно-массовых мероприятий.

Донные отложения и моллюски отбирались в летний период (июль – август) 2021 года. При отборе проб донных отложений использовались дночерпатели Боруцкого и Петерсена. Для моллюсков применялся ручной сбор на мелководье по стандартным методикам [1]. Каждый образец донных отложений брался из 5 частных проб с однородного участка. Отобранные в полиэтиленовые емкости образцы в дальнейшем высушивались до воздушно-сухого состояния. Ситовым методом выделялась для исследования фракция менее 1 мм, и пробы озолялись при температуре 450 °С. Мягкие ткани моллюсков отделялись от раковин, дальнейшее определение тяжелых металлов проводилось только в мягких тканях, которые высушивались до сухого состояния и в дальнейшем озолялись до белой золы. Определение содержания тяжелых металлов проводилось в ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси».

Результаты исследования и их обсуждение. Максимальное содержание соединений кадмия определено в донных отложениях оз. Володькино, испытывающего значительно меньшую антропогенную нагрузку, чем городские водоемы, объяснить высокое накопление изучаемого металла в водоеме пригородной зоны отдыха на данном этапе исследования довольно сложно (рисунок 1). В водоем впадает р. Ипуть, поэтому высока вероятность того, что загрязнители, в том числе соединения кадмия, поступали в оз. Володькино с водой реки на протяжении длительного промежутка времени, так как в р. Ипуть ранее поступали сточные воды предприятий г. Добруш. В настоящее время сброс сточных вод в р. Ипуть не производится, однако донные отложения депонируют различные токсиканты на протяжении длительного промежутка времени

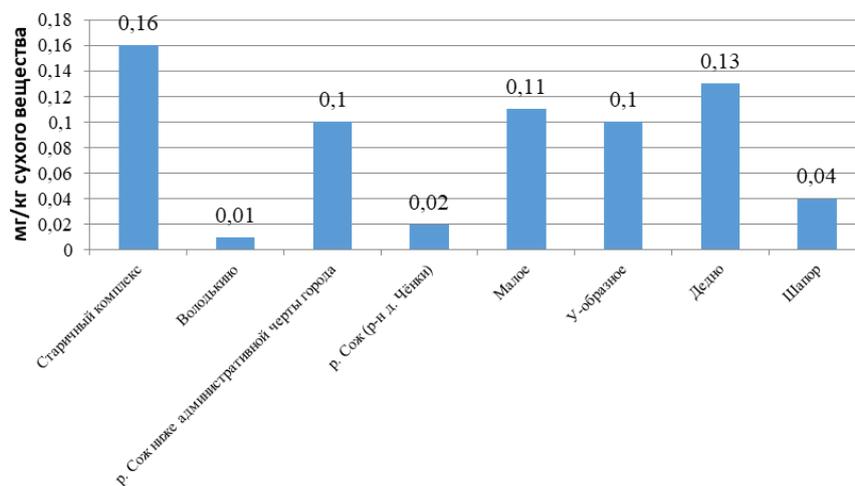


Рисунок 1 – Содержание кадмия в тканях прудовика обыкновенного (*Lymnaea stagnalis* L.) в водоемах г. Гомеля и прилегающих территорий

Низкое содержание соединений кадмия в мягких тканях прудовика обыкновенного, обитающего в оз. Володькино, свидетельствует о малой доступности соединений металла в отложениях озера (рисунок 2). Прудовик использует в качестве объекта питания водную растительность, которая является биофильтрами, активно поглощающими тяжелые металлы из воды, а в большей степени из донных отложений. Таким образом, по содержанию изучаемого металла в мягких тканях моллюсков можно опосредованно судить о доступности соединений кадмия в донных отложениях водных экосистем.

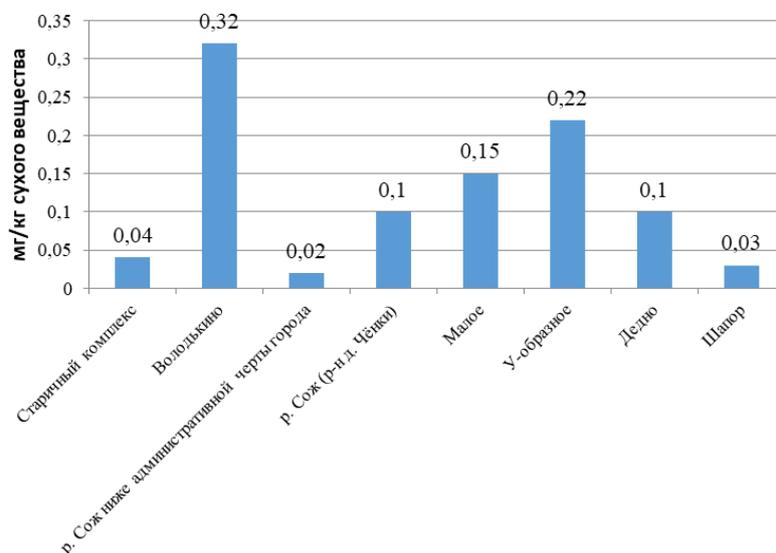


Рисунок 2 – Содержание кадмия в донных отложениях различных водоемов г. Гомеля и прилегающих территорий

На втором месте по загрязнению донных отложений соединениями кадмия находится оз. У-образное. Длительное воздействие стоков предприятий северного промузла оказало влияние на накопление соединений металла в донных отложениях озера. Причем соединения кадмия находятся в биодоступной для моллюсков форме, о чем свидетельствует высокая концентрация металла в мягких тканях моллюсков.

Третье место по степени загрязнения тяжелыми металлами определено для донных отложений оз. Малое, что является влиянием поверхностного стока с близлежащих территорий, таких как железная дорога, территория троллейбусного парка, автостоянка и др. О высокой биологической доступности соединений кадмия в донных отложениях оз. Малое свидетельствует значительное содержание металла в мягких тканях прудовика.

Ожидалось высокое содержание соединений кадмия в донных отложениях р. Сож на участке реки у объездной трассы г. Гомеля, где собирается поверхностный сток практически со всей территории города, в том числе и с объездной магистрали, где проходит большой поток автотранспорта. Однако в донных отложениях вышеуказанного участка реки определена минимальная концентрация кадмия, хотя содержание органического вещества, являющегося природным накопителем токсикантов в донных отложениях реки, увеличилось. Нами предполагается, что участок р. Сож в р-не д. Ченки будет содержать гораздо меньше соединений кадмия, так как река за административной чертой города имеет извилистое русло и, как правило, часть токсикантов оседает в донных отложениях. В исследованиях, проводимых ранее, донные отложения участка р. Сож в р-не д. Ченки содержали меньше загрязнителей, чем участок реки у административной черты города. Как показывают исследования, для соединений кадмия определена обратная тенденция, что требует дополнительных изучений, так как объяснить высокое содержание соединений металла в донных отложениях р. Сож в пригородной зоне отдыха, не испытывающей

видимой антропогенной нагрузки, сложно, как это было в случае с оз. Володькино. На участке р. Сож значительно ниже черты города по течению в р-не д. Ченки соединения кадмия в донных отложениях определены в той же концентрации, как и в донных отложениях оз. Дедно, испытывающего значительную антропогенную нагрузку. Можно предположить, что на накопление тяжелых металлов в донных отложениях различных участков реки оказывает влияние скорость течения реки. На участке р. Сож у объездной трассы скорость течения значительно выше и возможно мелкодисперсные частицы не успевают осаждаться в донных отложениях.

Что касается содержания соединений кадмия в мягких тканях прудовика, то на участке р. Сож в р-не д. Ченки концентрация в 5,0 раз ниже, чем на участке реки за административной чертой города. Можно предположить, что в донных отложениях р. Сож у административной черты города соединения кадмия гораздо более доступны для живых организмов, чем на участке реки в р-не д. Ченки. Не стоит исключать работу механизма блокировки, когда при высоких концентрациях металла в абиотических компонентах организм накапливает токсианты в тканях моллюсков в незначительных количествах, так как увеличивается скорость выведения токсических соединений из живых организмов [6].

Близкое к максимальному содержание соединений кадмия в тканях моллюсков характерно для оз. Дедно, которое в 1,3 раза превышает содержание металла у прудовиков, отловленных на участке р. Сож ниже черты города, хотя концентрация кадмия в донных отложениях оз. Дедно и на участке р. Сож ниже черты города практически одинакова. Объяснения могут быть следующими:

- 1) высокая доступность кадмия в донных отложениях оз. Дедно;
- 2) при значительном содержании металла в биологически доступных формах в воде и донных отложениях может наблюдаться срыв механизма блокировки поступления токсикантов в ткани моллюсков, таким образом, идет неконтрольное поступление загрязнителей в организм, что может привести либо к гибели живых организмов, либо приспособлению его к загрязненной экосистеме.

Максимальный уровень содержания кадмия отмечен у особей прудовика, отловленных в старичном комплексе р. Сож, где, как было сказано ранее, отсутствует антропогенная нагрузка. Донные отложения старичного комплекса хоть и не характеризуются высоким уровнем загрязнения соединениями кадмия, однако концентрация металла в 2,0 раза выше, чем на участке р. Сож у административной черты города. Накопление соединений изучаемого металла в донных отложениях старичного комплекса может объясняться отсутствием течения в водоеме и появления большого количества органики в донных отложениях. Одним из путей поступления металла в водоем могут быть загрязненные воздушные массы города, распространяющиеся на значительные расстояния [7]. Высокое содержание соединений кадмия в донных отложениях и тканях моллюсков также требует детального изучения, хотя однозначно свидетельствует о высокой доступности соединений металла в абиотических компонентах старичного комплекса.

В донных отложениях оз. Шапор, куда поступают поверхностные стоки с территорий предприятий города, концентрация кадмия незначительно ниже, чем в старичном комплексе, хотя водоем испытывает большую антропогенную нагрузку. Содержание соединений металла в мягких тканях прудовика, обитающего в оз. Шапор, превышает только концентрацию кадмия у особей оз. Володькино, что может свидетельствовать о низком уровне загрязнения водной экосистемы в целом соединениями изучаемого металла.

Заключение. Для оценки доступности соединений кадмия в абиотических компонентах водных экосистем можно использовать прудовика обыкновенного, который имеет опосредованную связь с донными отложениями через водные растения.

Высокое содержание в донных отложениях водоемов, не испытывающих видимой антропогенной нагрузки, требует дальнейшего более детального изучения, так же, как и максимальное содержание металла в старичном комплексе р. Сож.

Низкое содержание металла в мягких тканях прудовика в водоемах с загрязненными донными отложениями может объясняться работой механизма блокировки поступления тяжелых металлов в организмы моллюсков.

Старичный комплекс р. Сож, расположенный в чистой зоне, значительно выше города по течению и не испытывающий видимой антропогенной нагрузки, содержит в донных отложениях соединения кадмия в количествах, превышающих концентрацию металла в отложениях городских водоемов. Содержание соединений кадмия в мягких тканях прудовика данного водоема достигает максимального уровня. Это свидетельствует о необходимости контроля за стоянием водных экосистем, не испытывающих видимой антропогенной нагрузки.

Высокое содержание соединений кадмия у особей прудовика, отобранных на участке р. Сож ниже административной черты г. Гомеля, свидетельствует о влиянии поверхностного стока города на экосистему р. Сож.

Близкие концентрации тяжелых металлов в тканях моллюсков, обитающих в водоемах с различным характером антропогенной нагрузки, является следствием одинаковой биологической доступности металлов в компонентах водных экосистем.

Список литературы

1. Абакумов, В.А. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / В.А. Абакумов. – Л. : Гидрометеоздат, 1983. – 240 с.
2. Брень Н.В., Использование беспозвоночных для мониторинга загрязнения водных экосистем тяжелыми металлами / Брень Н.В. // Гидробиологический журнал, 1999. – Т. 25. – № 4 – С. 75–88.
3. Бурдин, К.С. Основы биологического мониторинга / К.С. Бурдин. – М. : Издво Моск. ун-та, 1985. – 275 с.
4. Водяницкий, Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах / Ю.Н. Водяницкий. – М. : ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2008. – 84 с.
5. Дементьев, Д.В. Содержание тяжёлых металлов в донных отложениях реки Енисей в районе Красноярска / Д.В. Дементьев, А.Я Болсуновский и др. // Известия Томского политехнического университета. – 2015. – Т.326. – №5 – С. 91–95.
6. Головатый, С.Е., Тяжелые металлы в агроэкосистемах / С.Е. Головатый – М. : РУП «Институт почвоведения и агрохимии», 2002. – 239 с.
7. Бусько, Е.Г. Оценка трансграничного переноса техногенных поллютантов / Е.Г. Бусько, С.С. Позняк // Экологический вестник России. – 2011. – № 10. – С. 66–69.

STUDY OF CADMIUM CONTENT IN SOFT TISSUES OF POND POND AND BOTTOM SEDIMENTS OF RESERVOIRS OF GOMEL AND ADJACENT TERRITORIES

T. V. MAKARENKO, A. G. PARFENKOVA

tmakarenko1968@bk.ru, N.Parfenkova@mail.ru
GSU named after F. Skorins
Gomel, Republic Of Belarus

Abstract. *To assess the availability of cadmium compounds in the abiotic components of aquatic ecosystems, it is possible to use the common pond, which has an indirect connection with bottom sediments through aquatic plants. The high metal content in bottom sediments and soft tissues of mollusks in reservoirs that do not experience visible anthropogenic stress*

requires further more detailed study. The low metal content in the soft tissues of the pond in reservoirs with polluted bottom sediments can be explained by the operation of the mechanism for blocking the entry of heavy metals into the organisms of mollusks. The high content of cadmium compounds in individuals of the pond fish selected at the site of R. Sozh is below the administrative line of Gomel, testifies to the influence of the city's surface runoff on the ecosystem of the Sozh river.

Key words: *heavy metals, hydrobionts, mollusks, biosphere, bottom sediments, accumulation, soft tissues.*

УДК 546.56:581.526.3:556.5(476.2-21Гомель)

ИЗУЧЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МЕДИ В ПОГРУЖЕННЫХ РАСТЕНИЯХ В ВОДОЕМАХ ГОРОДА ГОМЕЛЯ И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЯХ

Т. В. МАКАРЕНКО, А. А. БОЛИГАТОВА

tmakarenko1968@bk.ru, aleks.boligatova@yandex.by

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

Аннотация: *Значительное увеличение содержания меди в 2021 году в водных растениях при снижении содержания их концентрации в донных отложениях свидетельствует о вторичном загрязнении водных экосистем, когда загрязнители в донных отложениях переходят в биологически доступные формы и поглощаются живыми организмами. В литературе известные факты, когда донные отложения выступают вторичными источниками загрязнения водных экосистем. Этот факт увеличения содержания меди в растениях подтверждается необходимостью проведения мероприятий по экологическому оздоровлению водных экосистем города, которые используются населением для проведения культурно массовых мероприятий.*

Ключевые слова: *медь, тяжелые металлы, макрофиты, растения, экосистема воды.*

Введение. Тяжелые металлы играют особую роль в биосфере. Они могут образовывать локальные аккумуляции, находясь преимущественно в рассеянном состоянии, где их концентрация превышает среднемесячные уровни. Большинство металлов, попадая в организм выполняют важные функции. Их влияние на организм человека и животных различно и зависит от его природы, концентрации и типа соединений в котором он существует в природной среде. Некоторые тяжелые металлы жизненно необходимы для человека и других живых организмов. Другие вызывают противоположный эффект и, попадая в живой организм, приводят к его отравлению или гибели. К группе тяжелых металлов относятся медь, никель, ртуть, свинец, цинк, хром и кадмий, т.к. они являются наиболее опасными для здоровья человека и животных.

В макрофитах тяжелые металлы входят в группу микроэлементов наряду с физиологически необходимыми, такими как цинк, медь, железо, марганец, молибден, кобальт и др. Большинство микроэлементов могут оказывать отрицательное влияние на растения, если концентрация их доступных форм превышает определенные пределы. Это связано с тем, что действие любых химических веществ носит строго дозовый характер [1].

Медь – один из важнейших микроэлементов в живых организмах. Физиологическая активность данного металла связана, с включением его в состав активных центров окислительно-восстановительных ферментов. Недостаточное содержание ионов металла отрицательно влияет на синтез белков, жиров и витаминов и способствует бесплодию

растительных организмов. Медь участвует в процессе фотосинтеза и влияет на усвоение азота растениями. Вместе с тем, избыточные концентрации микроэлемента оказывают неблагоприятное воздействие на растительные и животные организмы. Хронический избыток металла вызывает остановку роста, снижение содержания гемоглобина, поражению печени, почек и мозга [2].

Цель: изучить содержания меди в погруженных растениях в водоемах г. Гомеля и прилегающих территорий.

Объекты исследования: В ходе исследования были отобраны погруженные или почти погруженные растения: рдест *Potamogeton natans* L и роголистник обыкновенный *Ceratophyllum* L. Подводные (погруженные) макрофиты на протяжении вегетационного сезона могут менять источники поступления химических веществ в свои ткани.

Для исследования были выбраны водные экосистемы с различной антропогенной нагрузкой: оз. Дедно, Шапор, Володькино, Малое, Волотовское, У-образное, старица р. Сож. Озеро Володькино представляет собой водоем, возникший в результате расширения коренного русла р. Сож в месте впадения в него р. Ипуть. Озеро Дедно – пойменный водоем контактирует через земляную дамбу с водоемом-«отстойником», принимающим стоки некоторых предприятий города, имеет связь с коренным руслом р. Сож, находится в черте города Гомеля. Озеро Шапор является старым руслом р. Сож, в настоящее время представляющее ответвление от основного русла, находится в черте города Гомеля. Оз. У-образное принимает стоки Прудковского рынка, автостоянки и автомагистрали. Значительное влияние на водную экосистему города оказывает предприятие ОАО «Гомельский химический завод», перерабатывающий сырье, поступающее на завод с различных горнодобывающих площадок. Старичный комплекс, расположенный выше города по течению на 10 км, загрязняется только воздушными массами Гомельской городской агломерации, а также водой р. Сож, с которой контактирует через небольшой перешеек, в большей степени в момент снеготаяния, половодий и при обильных дождях. Стоит отметить, что вокруг нет сельскохозяйственных угодий, не производится выпас скота, но, как известно, в водоемах с минимальной антропогенной нагрузкой биологически живые организмы могут накапливать токсиканты в концентрациях превышающие в загрязненной зоне [3].

Для оценки влияния поверхностных стоков с территории г. Гомеля на водную экосистему р. Сож для исследования были выбраны участки реки ниже административной черты города в р-не Гомельской объездной автомагистрали, а также значительно выше черты города в р-не д. Кленки. Данные водоемы широко используются населением для проведения культурно-массовых мероприятий.

Пробы растений после тщательного ополаскивания последовательно высушивали до воздушно-сухого, затем абсолютно сухого состояния и озоляли до белой золы в муфельной печи при 450 °С. Определение содержания тяжелых металлов проводилось в ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси».

Результаты исследования. Проводимые с 2019 по 2021 г. исследования содержания соединений меди в погруженных водных растениях показали, что макрофиты в водоемах черты города испытывают большее влияния, чем водоемы пригородной территории (рисунок 1). На протяжении всего периода исследований содержание меди в растениях городских водоемов постоянно увеличивалось. Это озера Дедно, Шапор, У-образное и Любенское. В оз. Шапор поступают стоки с территории предприятий ОАО «Гомельдрев», ФСК, ОАО «Гомельобой»; оз. Дедно контактирует с водоемом принимающим стоки Прудковского и Хатаевичского коллекторов; в оз. У-образное поступает сток с территорий автостоянки и Прудковского рынка, а также с близлежащих крупных магистралей города. Высокое содержание соединений металла характерно для растений оз. Любенское, хотя водоем не испытывает высокую антропогенную нагрузку. Однако в оз. Любенское поступает поверхностный сток с огородов близлежащего

частного сектора и улиц микрорайона «Любенский». Высока вероятность того, что в поверхностных стоках, идущих в вышеперечисленные водоемы, соединения меди находятся в доступных для биологических объектов формах, что может объяснить увеличение содержания металла в растениях на протяжении периода исследований. Не стоит исключать вторичное загрязнение водных экосистем, когда металлы переходят в донные отложения в доступные для живых организмов формы. В донных отложениях металлы и другие загрязнители накапливаются длительный промежуток времени, но чаще всего, находятся в малодоступных для живых организмов формах. При изменении физико-химических показателей состояния водоемов соединения меди переходят в биологически доступные формы и поглощаются, в данном конкретном случае, водными растениями, что значительно повышает содержание меди в биологических компонентах водных экосистем.

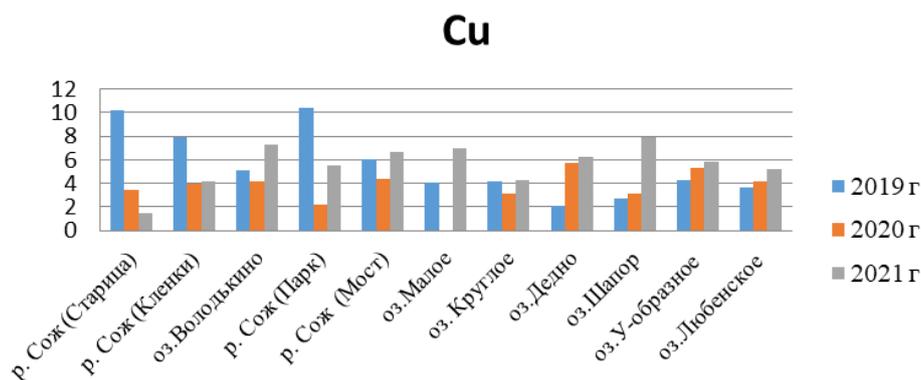


Рисунок 1 – Содержание меди в водных растениях в водоемах г. Гомеля и прилегающих территорий

В летний период 2021 г. физико-химические условия состояний водных экосистем изменились т.к. по данным гидромета за летний период выпало малое количество атмосферных осадков, значительно ниже нормы, отмечена высокая среднемесячная температура [4]. Это привело к снижению уровня воды в р. Сож на метр и более. В изучаемых водоемах, где проводили исследования отмечается падение уровня воды более чем на 1 метр. Вследствие этого изменились формы нахождения соединения тяжелых металлов и их соединения стали более доступны для водных растений, о чем свидетельствует увеличение концентраций металлов в погруженных растениях и снижение их в донных отложениях в 2021 г. Это подтверждает факт перехода соединений меди в более доступные для растений формы.

Иная динамика в сравнении с растениями озер черты города (оз. Дедно, Шапор, У-образное, Любенское) наблюдается у макрофитов, отобранных в р. Сож на разных участках и в оз. Володькино, которое является расширением коренного русла р. Сож в месте впадения в него р. Ипуть. Концентрация меди у растений водоемов р. Сож и в оз. Володькино снижается к 2020 году, а в 2021 г. увеличивается. Такая же динамика характерна для макрофитов оз. Круглое, располагающегося практически за чертой города, но принимаются стоки с улиц г. Гомеля (ул. Лепешинского) и с территорий некоторых предприятий Северного промышленного узла. И только у растений Старичного комплекса наблюдается однонаправленное снижение содержания меди на протяжении всего периода исследований. Водоем загрязняется только воздушными массами города, которые могут распространяться на значительном расстоянии от городских территорий [5,6] и водой р. Сож, которая в настоящее время через небольшой перешеек поступает в старичный комплекс. Снижение содержания соединений металла в растениях водоема, не испытывающего видимой антропогенной нагрузки (старичный комплекс р. Сож), а также снижение количества меди в растениях отдельных водоемов в 2020 г. свидетельствует об улучшении экологического состояния изучаемых водных экосистем за счет проведения природоохранной политики Республики Беларусь.

Для оз. Малое проследить изменения концентрации меди в растениях сложно, так как в 2020 году для экологического улучшения состояния водоемов водные растения были убраны по решению городских властей. В водоемах растения являются биофильтрами, могут поглощать различные токсиканты и чтобы предотвратить вторичное загрязнение водоемов необходимо удалить водные растения из водной экосистемы.

Несмотря на увеличение содержания металла в растениях водоемов в 2021 г. в сравнении с 2020 г. концентрация соединений меди в макрофитах на участке р. Сож выше черты города (д. Кленки) и на участке р. Сож в парковой зоне не превысило уровень содержания, определенный в 2019 г. Вероятнее всего, что данные участки реки ранее испытывали значительную антропогенную нагрузку, в водоемы поступал поверхностный сток, содержащий доступные для макрофитов соединения меди. Но с течением времени нагрузка на вышеперечисленные участки реки значительно снизилась, что вызвало снижение содержания металла и в растениях.

Максимальное содержание соединений меди за период исследования отмечено в 2019 году в растениях р. Сож парковой зоны, где вода принимает поверхностный сток с территории центральной части города. Объяснить высокое содержание металла в макрофитах выше черты города (д. Кленки) в 2019 г. можно только поступлением в реку большого количества поверхностного стока с огородов и дачных участков подходящие близко к урезу воды на данном участке берега р. Сож. Как показывают исследования, минеральные удобрения содержат соединения тяжелых металлов [7]. Кроме того, берег на данном участке реки обрывистый, что способствует поступлению поверхностного стока в речную систему. Дать объяснение высокому содержанию меди в 2019 году в погруженных растениях Старицы, не испытывающей антропогенные нагрузки и расположенного выше черты города по течению можно только высокой доступностью металла для растений данных видов в воде и донных отложениях водоема. В литературе описываются факты, когда в водоеме с низким содержанием меди в воде и донных отложениях биологические объекты накапливали металлы в своих органах и тканях до высоких уровней [9].

Максимальное снижение содержания металла в 2020 году в сравнении в 2019 году характерно для участка р. Сож в парковой зоне – снижение содержания составляет 4,8 раза и в старичном комплексе р. Сож (д. Поляновка) – в 2,9 раза. Незначительное снижение концентраций соединений меди было отмечено у растений в оз. Круглое в 2020 г. и составило 1,3 раза. Содержание металла в макрофитах оз. Володькино в 2021 г. превысило содержание, определенное для 2019 г, водоем не испытывает видимой антропогенной нагрузки и факт высокого содержания соединений меди в растениях озера требует дальнейшего изучения.

Заключение. Значительное увеличение содержания меди в 2021 году в водных растениях при снижении содержания их концентрации в донных отложениях свидетельствует о вторичном загрязнении водных экосистем, когда загрязнители в донных отложениях переходят в биологически доступные формы и поглощаются живыми организмами. В литературе известны факты, когда донные отложения выступают вторичными источниками загрязнения водных экосистем. Этот факт увеличения содержания меди в растениях подтверждается необходимостью проведения мероприятий по экологическому оздоровлению водных экосистем города, которые используются населением для проведения культурно массовых мероприятий.

Список литературы

1. Комаровский, Ф.Я. Ртуть и другие тяжелые металлы в водной среде: миграция, накопление, токсичность для гидробионтов / Ф.Я. Комаровский, Л.Р. Полищук // Гидробиологический журнал. –1981. – Т. 17. – № 5. – С. 71–83.

2. Афанасьева, Л.С. Экологическая химия: учебник для студ. сред. проф. учеб. заведений / Л.С. Афанасьева. – М. : Издательский центр «Академия», 2006. – 224 с.

3. Головатый, С.Е., Тяжелые металлы в агроэкосистемах / С.Е. Головатый – М. : РУП «Институт почвоведения и агрохимии», 2002. – 239 с.
4. Интернет-портал республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды [Электронный ресурс] / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – Минск, 2021. URL: <https://belgidromet.by/ru/climatolog-ru>
5. Баглаева, Е.М. Пространственная структура техногенного загрязнения снежного покрова промышленного города и его окрестностей растворимыми и нерастворимыми формами металлов / Е.М. Баглаева, А.П. Сергеев, А.Н. Медведев // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2012. – № 4. – С. 326–335.
6. Куимова, Н.Г. Эколого-геохимическая оценка аэротехногенного загрязнения урбанизированной территории по состоянию снежного покрова / Н.Г. Куимова [и др.]. // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2012. – № 5. – С. 422–435.
7. Хомич, В.С. Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси / В.С. Хомич, С.В. Какарека, Т.И. Кухарчик. – Минск : РУП «Минсктиппроект», 2004. – 260 с.
9. Макаренко, Т.В. Динамика содержания тяжелых металлов в донных отложениях и водных растениях р. Сож в районе Гомеля / Т.В. Макаренко, А.С. Косматков // Журн. Белорус. Гос. ун-та. Экология. – 2018. – № 1. – С. 48–60.

STUDY OF COPPER CONTENT IN SUBMERGED PLANTS IN RESERVOIRS OF GOMEL AND ADJACENT TERRITORIES

T. V. MAKARENKO, A. A. BOLIGATOVA

tmakarenko1968@bk.ru, aleks.boligatova@yandex.by
GSU named after F. Skorins
Gomel, Republic of Belarus

Abstract: *A significant increase in the copper content in aquatic plants in 2021 with a decrease in their concentration in bottom sediments indicates secondary pollution of aquatic ecosystems when pollutants in bottom sediments pass into biologically accessible forms and are absorbed by living organisms. There are well-known facts in the literature when bottom sediments act as secondary sources of pollution of aquatic ecosystems. This fact of an increase in the copper content in plants is confirmed by the need to take measures to improve the ecological health of the city's aquatic ecosystems, which are used by the population for cultural events.*

Key words: *copper, heavy metals, macrophytes, aquatic ecosystem.*

УДК 544.723:546.74-128:627.157(282.247.321.7)

ОСОБЕННОСТИ СОРБЦИИ ИОНОВ НИКЕЛЯ ДОННЫМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ СТАРИЦЫ РЕКИ СОЖ

А. В. ХАДАНОВИЧ, Е. М. БЕЛОУС

hadanovich@gsu.by
Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины,
г. Гомель, Беларусь

Аннотация. *В статье рассмотрены вопросы, связанные с особенностями сорбции ионов никеля донными отложениями старицы р. Сож. Установлен характер изменения параметров сорбции, рассчитанные значения рК-функциональных групп сорбента указывают на участие в поглощении изучаемых ионов функциональных групп кислотной природы.*

Ключевые слова: тяжелые металлы, никель, сорбент, поглощение, протолитическая емкость, константы диссоциации, спектры.

Загрязнение водных экосистем тяжелыми металлами является важной экологической проблемой на сегодняшний день. Тяжелые металлы – большая группа загрязняющих веществ, к которым относятся химические элементы с атомной массой более 50. Главными источниками загрязнения тяжелыми металлами являются промышленные предприятия, специализирующиеся на добыче, переработке металлов и получении нефтепродуктов, синтезе химически опасных веществ.

Важной составляющей водных экосистем являются донные отложения, которые принимают активное участие в геохимическом круговороте элементов и органического вещества. В донные отложения происходят процессы аккумулярующего характера тяжелых металлов и органических веществ, содержащихся в промышленных стоках. Данные вещества подвергаются трансформации, вследствие чего изменяется ход биологических процессов, активность, структура и образование новых веществ [1]. Тяжелые металлы попадают в поверхностные воды, а затем различными путями накапливаются в донных отложениях, вследствие сброса коммунальных и промышленных сточных вод в водоемы, поверхностного стока с пахотных полей и пылевых выпадений. Тяжелые металлы и их соединения характеризуются отсутствием биоразлагаемости. Некоторая часть тяжелых металлов распространяется поверхностными водами во взвешенном состоянии [2].

Сорбция катионов тяжелых металлов донными отложениями зависит от их состава и содержания органических веществ. В водных экосистемах тяжелые металлы, в целом, накапливаются в донных отложениях и биоте. Превышение концентрации ионов металлов в донных отложениях по сравнению с их уровнем в осадочных породах, является важным показателем антропогенного воздействия.

Актуальность: В современных условиях изучение вопросов, посвященных поведению тяжелых металлов в системе твердая фаза – раствор, является актуальной.

Цель исследования: Изучение особенностей сорбции ионов никеля донными отложениями старицы р. Сож

Объект и методы исследования: донные отложения старицы р. Сож г. Гомеля. Пробы донных отложений отбирались в июне 2021 года, их сушили на воздухе, измельчали и просеивали через сито диаметром 2 мм. К навеске донных отложений массой 2 г добавляли растворимую соль никеля ($Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) в дозе 1 ПДК. В качестве индифферентного фонового электролита использовали раствор $NaNO_3$ в концентрации 0,1 моль/дм³ (20 см³). Время взаимодействия составило 24 часа. Проводили потенциметрическое титрование раствором $NaOH$ (0,1 моль/дм³) на рН-метре «рН 50».

Результаты исследований. Протолитические свойства сорбента изучали с применением метода рК-спектроскопии, позволяющего определить зависимость концентраций функциональных групп от рК, путем потенциметрического титрования.

Донные отложения включают в свой состав органические соединения, которые оказывают высокое влияние на сорбционную способность, могут как замедлять, так и ускорять процесс адсорбции. Гуминовые и гумусовые кислоты играют ведущую роль в связывании металлов, среди органических соединений взвешанных веществ. Кислотные функциональные группы участвуют в процессе механизма образования комплексов гуминовых кислот. Они содержат ряд функциональных групп различной природы: спиртовые – CH_2-OH , альдегидные – CHO , карбоксильные – $COOH$, кетонные – CO -, метоксильные – OCH_3 , фенольные – C_6H_5-OH , аминогруппы – NH_2 , амидные – $CO-NH_2$, хинонные, гидрохинонные. Наличие в гумусовых кислотах функциональных групп свидетельствует об их способности образовывать водородные связи, вступать в донорно-акцепторные и ионные механизмы взаимодействия.

В ходе проведения сорбционного эксперимента, с целью изучения протолитических свойств сорбента получены кривые титрования (рисунок 1):

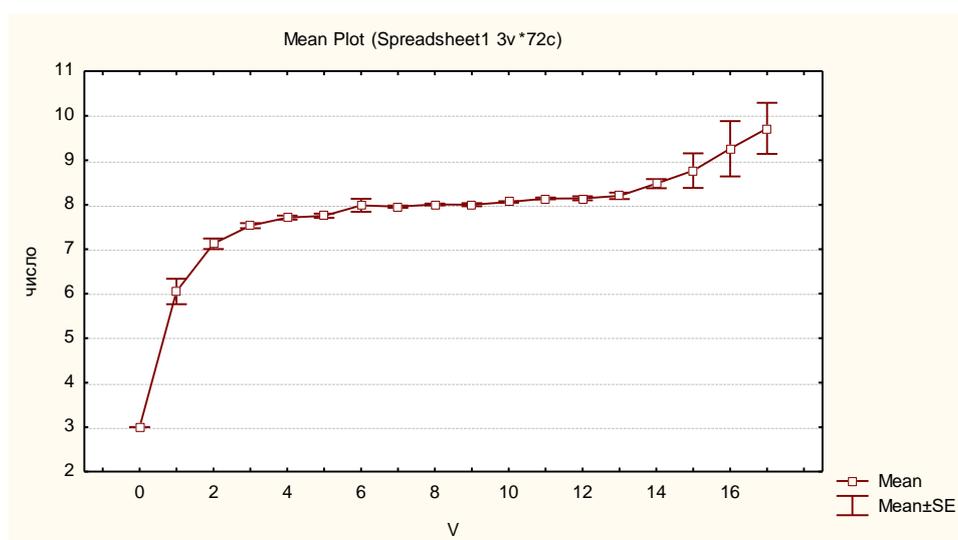


Рисунок 1 – Кривая потенциметрического титрования донных отложений раствором 0,1 м NaOH (доза Ni (II) 1 ПДК)

Используя данные, полученные в ходе титрования, рассчитывали значения рК функциональных групп (рисунок 2) и значения протолитической емкости сорбента по формуле 1, которые участвовали в ходе поглощения тяжелыми металлами в интервалах 3–4, 4–5, 5–6, 6–7, 7–8, 8–9:

$$q = \frac{(V_1 - V_2) \cdot C_H}{m} \quad (1)$$

где V_1 и V_2 – объемы NaOH,
 m – массы сорбента.

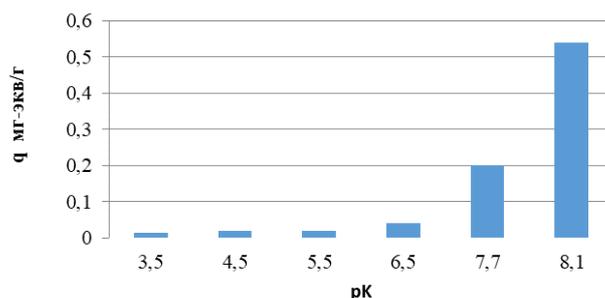


Рисунок 2 – Зависимость протолитической емкости сорбента от значений рК функциональных групп

Значения протолитической емкости сорбента варьировали в интервале 0,01 до 0,54 мг-экв/г сорбента. Максимальное значение данного показателя зафиксировано при рК 8,1.

С целью оценки приращения протолитической емкости сорбента проводили расчеты по формуле 2:

$$\Delta q = q_{\text{оп}} - q_{\text{хол}} \quad (2)$$

На рисунке 3 приведены результаты сорбционного эксперимента.

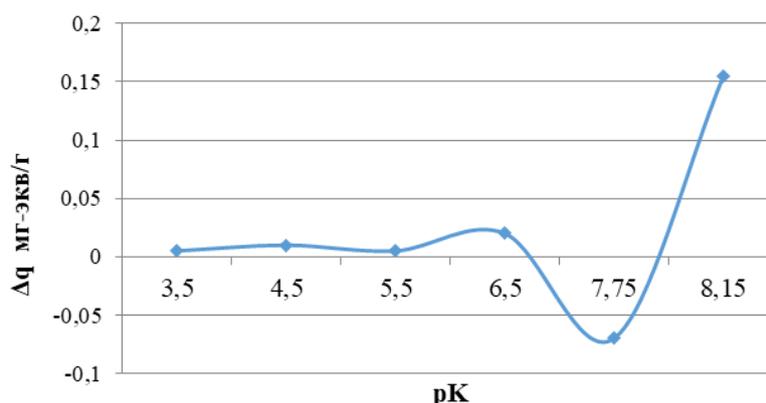


Рисунок 3 – Зависимость приращения протолитической емкости донных отложений от значений рК функциональных групп

Максимумы поглощения ионов никеля отмечены при $pK=8,1$ (Δq составило $0,155$ мг-экв/г), что соответствует связыванию катионов никеля (II) функциональными группами кислотной и фенольной природы [3]. Высвобождение ионов тяжелого металла отмечается при $pK = 7,75$ ($\Delta q = -0,07$ мг-экв/г), что вероятно указывает на присутствие ионов никеля либо в виде свободных ионов Ni^{2+} , либо растворимых комплексных соединений, не связанных непосредственно с функциональными группами донных отложений. Характер поглощения ионов изучаемого металла, вероятно, связан с природой сорбента.

Список литературы

1. Блинова, Е.Г. Биотехнологические аспекты анализа донных осадков и гидрохимический режим водотока / Е.Г. Блинова, М.Г. Чеснокова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2019. – № 10–1. – С. 75–80.
2. Исследование процессов сорбции некоторых ионов тяжелых металлов на природных материалах / В.В. Шакирова [и др.]. // Естественные науки. – 2016. – № 4 (57). – С. 118 – 124.
3. Пинский, Д.Л. Поведение Cu (II), Zn (II), Pb (II), Cd (II) в системе раствор – природные сорбенты в присутствии фульвокислоты / Д.Л. Пинский [и др.]. // Почвоведение. – 2004. – № 3. – С. 291 – 300.

FEATURES OF SORPTION OF NICKEL (II) IONS BY BOTTOM SEDIMENTS OF STARITSA R. SOZH

A. V. KHADANOVICH, E. M. BELOUS

hadanovich@gsu.by

*Educational institution "Gomel State University named after Francysk Skaryna",
Gomel, Belarus*

Abstract. *The article deals with the issues related to the peculiarities of sorption of nickel (II) ions by bottom sediments of the staritsa of the Sozh river. The nature of the change in the sorption parameters is established, the calculated values of pK–functional groups of the sorbent indicate the participation in the absorption of the studied ions of functional groups of acid nature.*

Key words: heavy metals, nickel, sorbent, absorption, protolytic capacity, dissociation constants, spectra.

УДК 553.623(476.2-37Петриков)

МЕСТОРОЖДЕНИЕ ПЕСКА ЛЮДВИНОВ-2 (ПЕТРИКОВСКИЙ РАЙОН, ГОМЕЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Т. А. МЕЛЕЖ

Tatyana.melezh@mail.ru

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

Аннотация. В работе рассмотрено геологическое строение месторождения песка Людвинов-2. Изучены физико-механические свойства песчаного грунта и определены возможности его использования для отсыпки земляного полотна при ремонте и строительстве автодорог, а также для приготовления противогололёдных материалов.

Ключевые слова: грунт, геологическое строение, месторождение, Людвинов-2, физико-механические свойства.

В административном отношении месторождение Людвинов-2 расположено в южной части Петриковского района Гомельской области, в 15,0 км на северо-восток от районного центра г. Петриков, в 0,6 км западнее, северо-западнее от западной окраины д. Людвинов и в 4,0 км северо-восточнее центра д. Сметаничи (рисунок 1). Месторождение [1] расположено в междуречье левых притоков р. Припять – р. Бобрик и р. Птичь, которые протекают по заболоченной и густо залесенной низине. Долины рек разбиты сетью мелиоративных каналов, куда происходит основной сток поверхностных вод.



Рисунок 1 – Фрагмент космоснимка, месторождение Людвинов-2

В геоморфологическом отношении месторождение Людвинов-2 приурочено к области Полесской низменности подобласти Белорусского Полесья, Ветчинской водно-ледниковой низине с краевыми ледниковыми образованиями. Поверхность Ветчинской низины полого-волнистая с общим слабым уклоном в южном направлении, в сторону р. Припять. На поверхности низины расположены заболоченные понижения и небольшие, высотой до 3 м эоловые гряды и холмы. На исследуемой территории развит ледниковый рельеф сожского возраста. Месторождение приурочено к невысокой гряде серповидной формы с достаточно пологими

склонами. Максимальные отметки на площади месторождения приурочены к плоской поверхности гряды с абсолютными отметками 131,53 м на юге и до 129,24 м на северо-западе. Превышение вершин гряды над окружающей местностью составляет около 3 м [2, 3].

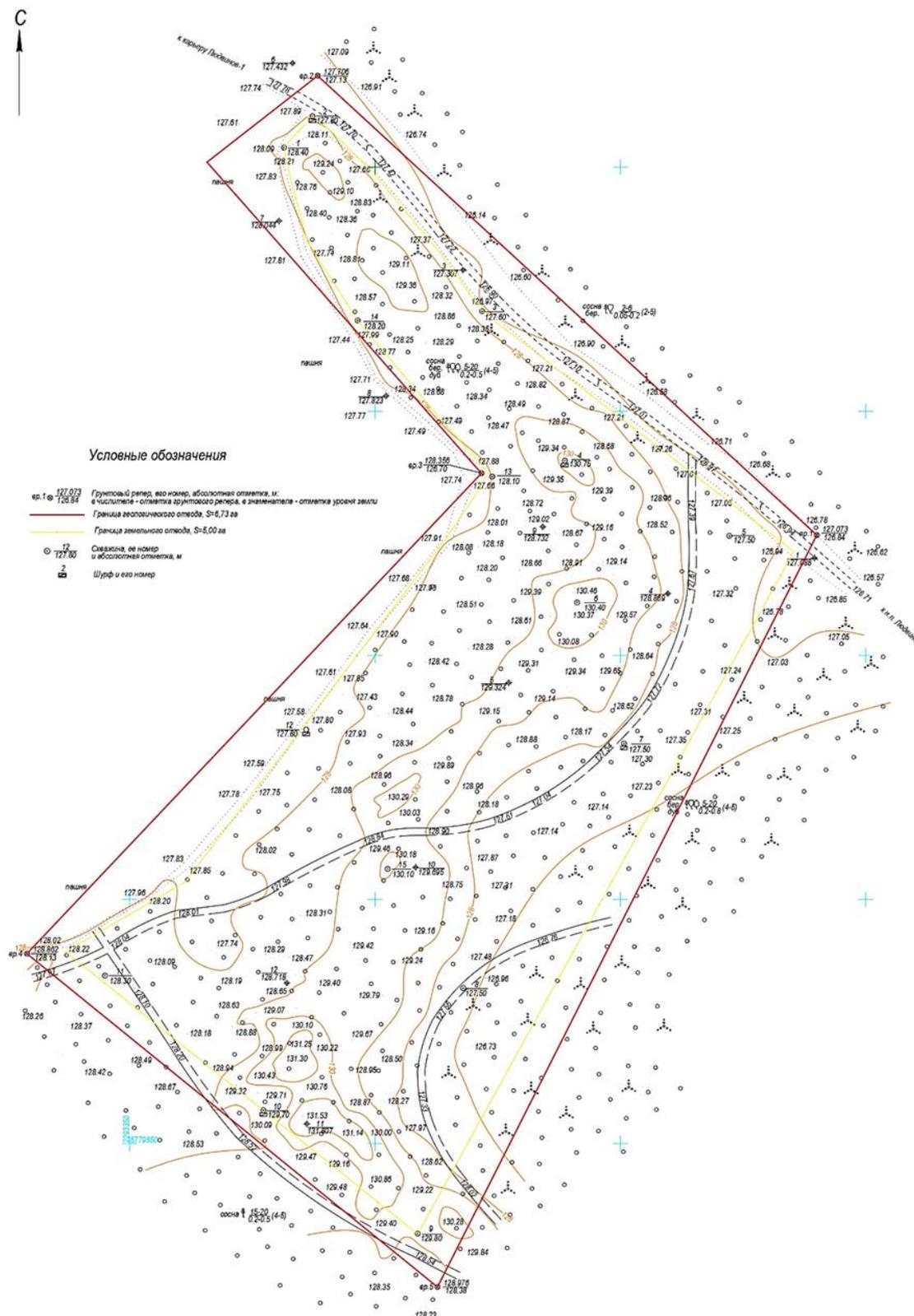


Рисунок 2 – Топоплан месторождения Людвинов-2 [1]

Разведанный участок площадью 5,0 га в плане имеет геометрическую форму в виде двух сложенных прямоугольников (рисунок 2). Длина участка с северо-запада на юго-восток составляет 330 м, ширина в северной части участка – 300 м, в южной – 210 м.

В геологическом строении месторождения на изученную глубину развиты флювиогляциальные надморенные отложения сожского горизонта (*fIIsz^s*) [4] среднечетвертичного возраста, которые залегают под почвенно-растительным слоем. Представлены они песком мелкозернистым желтым, серо-желтым полевошпатово-кварцевым, средней плотности с прослоями и слоями супеси серой, желто-серой пластичной мощностью от 0,2 м до 1,8 м. Вскрытая их мощность изменяется в пределах от 3,0 м до 6,0 м [2].

Грунтовые воды на месторождении вскрыты во всех скважинах. Глубина залегания зеркала грунтовых вод от дневной поверхности составляет 0,8–4,0 м, что соответствует абсолютным отметкам 128,20 – 128,50 м. Водоносный горизонт имеет открытую поверхность, воды не напорные. Питание водоносного горизонта происходит за счет атмосферных осадков, разгрузка – в более низкие по гипсометрическому положению участки и далее – в местную речную сеть.

К полезному ископаемому на месторождении Людвинов-2 отнесен песок мелкий, залегающий на 0,5 м ниже поверхности земли. Нижнюю границу полезного ископаемого следует принимать на 0,5 м выше уровня грунтовых вод. Полезное ископаемое залегают в виде пластовой залежи [2].

Распространенный на месторождении грунт, слагающий полезное ископаемое, согласно классификации СТБ 943-2007 относится к классу нескальных, группе осадочных несцементированных, подгруппе обломочных, типу песок, виду мелких грунтов ледникового происхождения. Согласно ГОСТ 12536-79 грунт относится к песку мелкому однородному (коэффициент неоднородности 1,67–2,5, при среднем значении 2,1). Песок мелкий распространен повсеместно под почвенно-растительным слоем, вскрытая мощность песка составила 2,1-5,2 м.

Согласно классификации ТКП 45-3.03-19-2006 к дренирующим относятся грунты, имеющие при максимальной плотности при стандартном уплотнении по ГОСТ 22733-07 коэффициент фильтрации не менее 0,5 м/сут. Коэффициент фильтрации песка мелкого изменяется от 0,1 м/сут до 2,8 м/сут, при среднем значении 1,71 м/сут. Согласно классификации ТКП 45-3.03-19-2006 песок мелкий относится ко II группе – слабопучинистым грунтам. Физико-механические свойства песчаного грунта приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-механические свойства песчаного грунта [2]

Вид грунта	Показатели свойств и единица измерения						
	Плотность, г/см ³	Плотность сухого грунта, г/см ³	Плотность частиц грунта, г/см ³	Коэффициент пористости	Естественная влажность, %	Оптимальная влажность, %	Максимальная плотность г/см ³
Песок мелкий	1,72-1,88 1,78(5)	1,68-1,80 1,73(3)	2,61- 2,66 2,64(5)	0,47-0,56 0,53(5)	2,5-4,0 3,18(5)	6,9- 11,5 9,52(6)	1,76-1,89 1,81(6)

Примечание: в числителе минимальное и максимальное значение, в знаменателе – среднее значение и количество определений.

В соответствии с ГОСТ 8736-93 на месторождении по зерновому составу, как по разрезу, так и по площади, преобладают пески тонкие, локально распространены пески очень тонкие. К полезному ископаемому на месторождении Лювинов-2 относится песок мелкий, пригодный в качестве сырья для отсыпки земляного полотна автодорог в соответствии с требованиями ТКП 45-3.03-19-2006 «Автомобильные дороги. Нормы проектирования» при строительстве автодорог, в т.ч. устройства дренарующих слоев.

Песок предполагается использовать для отсыпки земляного полотна при ремонте и строительстве автодорог, а также для приготовления противогололёдных материалов, поэтому классификация пород на месторождении произведена по СТБ 943-2007 «Грунты. Классификация» и оценка их качества выполнена в соответствии с требованиями ТКП 45-3.03-19-2006 «Автомобильные дороги. Нормы проектирования» и СТБ 1158-2013 «Материалы противогололедные для зимнего содержания автомобильных дорог. Общие технические условия». В соответствии с требованиями СТБ 1158-2013, основными качественными показателями для песка, используемого для приготовления противогололёдных материалов, являются: модуль крупности; содержание фракции мельче 0,16 мм; содержание пылевидных и глинистых частиц [2].

На месторождении Людвинов-2 разведаны запасы песка в количестве 88,6 тыс. м³ и квалифицированы по категории С₁, которые предлагаются на утверждение Республиканской комиссии по запасам полезных ископаемых Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Месторождение полностью не оконтурено. Прирост запасов полезного ископаемого возможен в северо-западном и юго-восточном направлениях, а также на глубину.

Список литературы

1. Отчет о детальной разведке месторождения песка Людвинов-2 Петриковского района Гомельской области с подсчетом запасов по состоянию на 27 октября 2016 г. (объект 016-16-О-ДР) / отв. исп. О.Е. Круковская. – Гомель: «Гомельдорпроект».
2. Якушко, О.Ф. Геоморфология Беларуси: Учебное пособие для студентов географических и геологических специальностей / О.Ф. Якушко. – Мн. : БГУ, 1999. – 173 с.
3. Геоморфологическая карта Беларуси. Масштаб 1:2500000 // Национальный атлас. Комитет по земельным ресурсам, геодезии, картографии при Совете Министров Республики Беларусь, 2002.
4. Геологическая карта четвертичных отложений Беларуси. Масштаб 1:2500000 // Национальный атлас. Комитет по земельным ресурсам, геодезии, картографии при Совете Министров Республики Беларусь, 2002.

LUDVINOV-2 SAND DEPOSIT (PETRIKOVSKY DISTRICT, GOMEL REGION)

T. A. MELEZH

Tatyana.melezh@mail.ru
Francisk Skorina Gomel State University,
Gomel, Belarus

Abstract. *the paper considers the geological structure of the Ludvinov-2 sand deposit. The physicommechanical properties of sandy soil have been studied and the possibilities of its use for filling the roadbed during the repair and construction of highways, as well as for the preparation of deicing materials, have been determined.*

Key words: soil, geological structure, deposit, Ludvinov-2, physical and mechanical properties.

УДК 546.815:582.3/.99:574.5(476.2-21Гомель)

СОДЕРЖАНИЕ СВИНЦА В ВЫСШИХ РАСТЕНИЯХ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ГОРОДА ГОМЕЛЯ

О. В. ПЫРХ, В. В. СЛЮНЬКОВА

Vlada.slyunkova@bk.ru

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

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы проблемы загрязнения водоемов г. Гомеля свинцом. Были проанализированы главные источники поступления данного металла в водную экосистему. Выявлены озера с наибольшим и наименьшим содержанием свинца.

Ключевые слова: Высшие водные растения, водные экосистемы, источники поступления, накопление, тяжелые металлы, токсиканты, свинец, содержание.

Введение. В настоящее время тяжелые металлы являются одними из наиболее опасных загрязнителей биосферы. В наибольшей мере это связано с их биологической активностью, устойчивостью и увеличением концентрации при переходе по трофическим цепям [1]. Тяжелые металлы не разрушаются под действием природных факторов, в отличие от токсикантов органической природы. Их выведение из водной экосистемы возможно только путем улетучивания (ртуть) или же захоронения в донных отложениях. Изучению содержания данных металлов уделяется большое внимание, так как они являются токсикантами и могут накапливаться в различных видах экосистем. В зависимости от природной среды металлов и их концентрации они могут оказывать на организм человека и животных различные физиологические действия. Некоторые тяжелые металлы в определенных концентрациях необходимы для нормальной жизнедеятельности организма человека и животных, их относят к так называемым микроэлементам. В свою очередь, другие металлы могут вызывать противоположный эффект, при больших дозах они могут вызывать отравление организма и даже его гибель. Наиболее опасными для здоровья металлами принято считать: медь, кадмий, ртуть, мышьяк, свинец, цинк, никель и хром. Именно их и относят к так называемым металлам – токсикантам [2].

Свинец является природным токсическим металлом. Его широкое применение привело к масштабному загрязнению окружающей среды. Наиболее важными источниками поступления свинца являются продукты, которые образуются при сжигании топлива (нефти, бензина) и при стирании машинных шин. Большую опасность также представляют сточные воды производств. Ареал рассеивания свинца вокруг металлургических предприятий достигает 30 – 40 км [3,4]. Высокие концентрации свинца в водной экосистеме могут наблюдаться в озерах, которые находятся вблизи крупных автомагистралей. Накопление свинца влияет на целый ряд систем организма. Изучаемый металл оказывает негативное влияние при больших концентрациях на центральную нервную систему и функционирование головного мозга [5]. Воздействие свинца вызывает также анемию, гипертензию, почечную недостаточность, иммунный токсикоз и токсическое поражение репродуктивных органов.

Цель работы – мониторинговые исследования загрязнения свинцом высших водных растений г. Гомеля и прилегающих территорий.

Материалы и методы исследования. При проведении сравнительного анализа состояния растительности водных экосистем могут возникать определенные сложности

из-за того, что не во всех водоемах можно встретить представителей одного вида гидрофитов. Именно поэтому принято разделять все макрофиты на несколько экологических групп, исходя из способа поступления металла в органы и ткани растений. Согласно классификации В.М. Катанской [6], выделяют четыре экологические группы водных растений. К I экологической группе относятся свободноплавающие неприкрепленные растения, которые получают микроэлементы преимущественно из воды и воздушных масс. II экологическая группа – плавающие прикрепленные растения (укореняющиеся гидрофиты с плавающими листьями), получающие значительную часть химических элементов не только из воды, но и из донных отложений. III группа – подводные (погруженные) растения, они на протяжении всего сезона могут менять источники поступления тяжелых металлов и иных химических веществ. К IV экологической группе относятся надводные (воздушно-водные или земноводные) растения, для них характерно всасывание химических элементов и веществ из донных отложений при значительной роли водной массы и атмосферного поступления веществ.

Объект исследований – наиболее часто встречаемые высшие водные растения I – IV экологических групп. Учитывалось общее содержание свинца в погруженных, свободно плавающих и воздушно-водных растениях.

Для исследования были выбраны различные водоемы г. Гомеля, испытывающие антропогенную нагрузку. К изучаемым водоемам относятся: оз. Володькино, оз. Дедно, оз. Шапор, оз. Любенское, а также участки р. Сож, находящиеся ниже, выше и в самой черте города. Оз. Володькино возникло в результате расширения русла р. Сож в месте впадения в него р. Ипуть. Оно находится в черте города и достаточно активно используется в рекреационных целях. Озера Дедно, Шапор и Любенское – пойменные водоемы, имеющие связь с коренным руслом р. Сож. Оз. Дедно связано с водоемом, который принимает стоки Прудковского и Хатаевичского коллекторов, а также стоки автопредприятий и фабрики «Спартак». В оз. Шапор поступают многочисленные поверхностные стоки с территории с различных предприятий города. Оз. Любенское расположено в городской зоне отдыха и также используется в рекреационных целях.

Отбор проб проводился методом ручного сбора по стандартной методике. Материал тщательно споласкивался и высушивался, после измельчался. Анализ материала проводился на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой с подготовкой образцов в системе микроволнового вскрытия в Институте радиобиологии НАН Беларуси.

Результаты исследования и их обсуждение. Проводимые исследования в период с 2019 по 2021 год показали, что единой динамики в содержании свинца в растениях изучаемых водоемов не было обнаружено (рисунок 1).

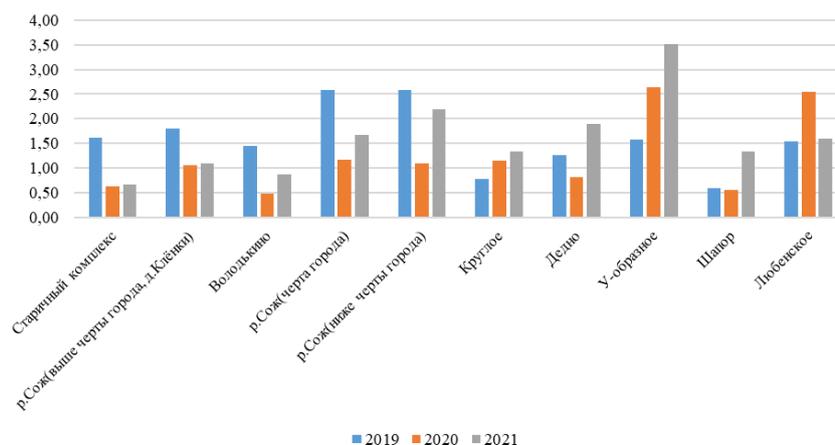


Рисунок 1 – Содержание свинца в водоемах г. Гомеля (мг/кг сух. вещества)

Предполагалось, что в 2021 году будет происходить увеличение содержания свинца в растениях во всех изучаемых водоемах, так как именно в том году наблюдалась

высокая среднемесячная температура в летний период и отсутствие осадков, что привело к резкому снижению уровня воды в р. Сож и во всех водоемах более чем на метр. Это способствовало изменению условий состояния водоема: изменение pH и увеличение температуры воды в донных слоях. Исходя из этого, можно сделать вывод, что именно вследствие этого соединения свинца и других тяжелых металлов перешли в более доступные для высших водных растений формы, об этом также может свидетельствовать увеличение содержания металлов в растениях и их снижение в донных отложениях.

Однако, в растениях Старичного комплекса р. Сож, а также в растениях на участке выше черты города (д. Кленки) и в оз. Любенском содержание изучаемого металла снизилось в сравнении с 2019 годом. Причем в растениях Старичного комплекса и у макрофагов участка р. Сож выше черты города (д. Кленки) наблюдалось резкое снижение содержания свинца в 2020 году по сравнению с 2019 годом. Для Старичного комплекса снижение металла в 2020 году по сравнению с 2019 годом составило 2,55 раза, а для участка р. Сож выше черты города (д. Кленки) снижение свинца в 2020 году по сравнению с 2019 годом составило 1,70 раз.

В оз. Круглое и оз. У-образное содержание свинца в растениях постоянно увеличивалось в период с 2019 по 2021 год. Причем в оз. У-образное содержание металла в растениях в 2020 и 2021 годах является максимальным в сравнении с другими водоемами. Объяснить высокое содержание свинца в оз. У-образном можно поступлением стоков с крупных автомагистралей г. Гомель и автостоянки, которая расположена недалеко от озера, а также рынка «Прудковский».

В растениях, которые были отобраны в оз. Круглом, содержание свинца было не столь значительным, как в У-образном, но его постепенное увеличение в течение исследованного времени можно объяснить поступлением данного металла с поверхностными стоками с территории ул. Лепешинской г. Гомеля. Стоит учитывать и то, что вдоль одного из берегов озера находится железная дорога с интенсивным движением транспорта и крупная автомагистраль, которая является въездом в г. Гомель, где также идет высокая плотность автомобильного транспорта.

Установлено повышение содержания свинца в 2020 г. в изучаемой растительности оз. Любенское по сравнению с 2019 г. в 1,66 раз. Однако, в 2021 г. содержание изучаемого металла снизилось в этом озере в 1,59 раз по сравнению с уровнем 2020 г. Резкое снижение содержания металла в 2021 г. при одновременном снижении свинца в донных отложениях можно объяснить только малой доступностью данного металла в абиотическом компоненте озера. Проводимые реконструкции водоема могли также повлиять на структуру донных отложений, а это, в свою очередь, могло вызвать снижение концентрации металла в растениях, хотя водоем окружен объездной трассой вокруг города. Следует отметить, что водоем испытывает высокую антропогенную нагрузку, т.к. в оз. Любенское поступает поверхностный сток с улиц мкр. Любенского. Именно поэтому снижение содержания свинца нельзя объяснить возможным снижением антропогенной нагрузки на озеро, для выявления причин необходимо проведение дополнительных исследований.

В оз. Шапор поступают стоки с территорий предприятий ЧПУП «Фанеро-спичечный комбинат», ОАО «Гомельдрев», ОАО «Гомельобой», но содержание свинца в растениях не является высоким, причем в 2019 и 2020 годах содержание изучаемого металла практически не изменялось, увеличение произошло в 2021 году в 2,25 раз по сравнению с 2019 г. Однозначно можно предположить, что даже в случае наличия в поверхностном стоке, поступающем в водоем, свинца, последний содержится в недоступной для растений форме, а повышение металла в 2021 г. является следствием изменения увеличения доступных форм свинца в донных отложениях водоема.

В оз. Володькино, оз. Дедно, а также на участках р. Сож в черте города и ниже черты города определена единая динамика содержания металла: в 2020 г. содержание свинца снижается, но в 2021 г. значительно увеличивается. Как было сказано выше, это можно объяснить увеличением числа доступных форм тяжелых металлов для высших водных растений.

Снижение соединения металла в 2020 г. в растениях участка р. Сож и в оз. Дедно, куда поступает значительное количество поверхностных стоков, говорит о снижении антропогенной нагрузки на данной территории, что является следствием проведения природоохранной политики.

Еще одним из факторов накопления свинца и других тяжелых металлов является ОАО «Гомельский химический завод». На данном предприятии производят комплексы фосфоросодержащих удобрений. За многие годы работы завода образовались высокие соляные горы, которые имеют характерный белый цвет. Жители г. Гомеля называют эти отвалы Гомельскими «Альпами», самые высокие из них достигают 95 м. Соляные горы состоят преимущественно из фосфогипса. Не стоит исключать того, что именно из-за данного предприятия с переносимыми ветром частицами разносятся небольшие концентрации металлов, в том числе свинца, которые вследствие невозможности разрушения под действием природных факторов накапливаются в водной экосистеме, тем самым засоряя собой водоемы.

Заключение. Высшая водная растительность является очень мощным биологическим фильтром в процессе самоочищения водоемов и рек. Макрофиты поглощают из воды и донных отложений большинство загрязняющих веществ, в том числе тяжелые металлы. Поэтому для оценки доступности соединений свинца можно использовать водную растительность.

Близкие концентрации содержания в высшей водной растительности тяжелых металлов, которые находятся в водоемах с различным характером антропогенной нагрузки, является следствием схожей или почти одинаковой биологической доступности металлов в компонентах водных экосистем.

Исходя из полученных данных, можно отметить, что очень резкое снижение концентрации изучаемого металла произошло в 2021 г. в оз. Любенком, при одновременном снижении содержания металла в донных отложениях. Этот скачок можно объяснить только небольшой доступностью свинца и его соединений в абиотическом компоненте водоема. В данном озере недавно происходили реконструкции, это также могло повлиять на структуру донных отложений, в свою очередь, это и могло вызвать снижение содержания свинца в высшей водной растительности.

В оз. Шапор содержание изучаемого металла не является высоким, несмотря на большое поступление стоков с территорий многих предприятий города. В этом случае можно предположить, что даже в случае наличия свинца в поверхностном стоке, который поступает в водоем, он содержится в недоступной для водной растительности форме. Повышение данного тяжелого металла в 2021 г. является следствием увеличения доступных форм свинца в донных отложениях водоема.

Самое большое содержание изучаемого металла в растительности изучаемых водоемах было выявлено в оз. У-образном. Можно предположить, что это связано с поступлением стоков с крупных автомагистралей г. Гомеля.

Снижение соединения металла в 2020 г. в растениях участка р. Сож и в оз. Дедно, куда попадает достаточно большое количество поверхностных стоков, говорит о снижении антропогенной нагрузки на данной территории, что является следствием проведения природоохранной политики.

Предприятие ОАО «Гомельский химический завод» может служить одним из главных источников загрязнения водоемов, которое происходит при переносе ветром с соляных гор частиц, которые распределяются в различных концентрациях в почве и водоемах.

Список литературы

1. Мисейко, Г.Н. Биологический анализ качества пресных вод / Г.Н. Мисейко. – Барнаул : Алтайский государственный университет, 2001. – 201 с.
2. Бериня, Дз.Ж. Вредные вещества выбросов автотранспорта / Дз.Ж. Бериня, И.М. Латыня. – М. : Наука, 1989. – 250 с.

3. Мур, Дж.В. Тяжелые металлы в природных водах. Контроль и оценка влияния / Дж.В. Мур, С.П. Рамамурти. – М. : Мир, 1987. – 285 с.
4. Денисова, А.И. Формирование гидрохимического режима водохранилищ Днепра и методы его прогнозирования / А.И. Денисова. – Киев : Наук. думка, 1979. – 290 с.
5. Авцын, А. П. Микроэлементозы человека / А.П. Авцын [и др.]. – М.: Медицина, 1991. – 496 с.
6. Катанская, В.М. Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР: методы изучения / В.М. Катанская. – Ленинград : Наука, 1981. – 187 с.

LEAD CONTENT IN HIGHER PLANTS OF AQUATIC ECOSYSTEMS IN GOMEL

O. V. PYRH, V. V. SLYUNKOVA

Vlada.slyunkova@bk.ru
Francisk Skorina Gomel State University

Abstract. *The article discusses the problems of pollution of water bodies in Gomel with lead. The main sources of this metal entering the aquatic ecosystem were analyzed. Lakes with the highest and lowest lead content have been identified.*

Key words: *Higher aquatic plants, aquatic ecosystems, sources of generation, accumulation, heavy metals, toxicants, lead, content.*

УДК 552.581

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРЕРАБОТКИ КИЗЕЛЬГУРОВОГО ШЛАМА

С. В. ШАХОВ

mapp.vsuet@mail.ru
Воронежский государственный университет инженерных технологий,
г. Воронеж, Россия

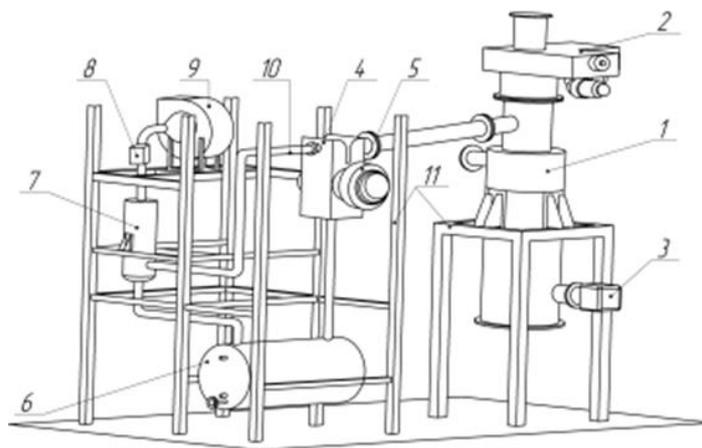
Аннотация. *Приведена экспериментальная установка для пиролиза кизельгурового шлама. Для близкой имитации промышленной переработки кизельгурового шлама пивоваренного производства после серии опытов с загрузкой в реактор небольших объемов пиролизная установка была опробована при циклической загрузке с возможным заполнением на половину реактора с получением результатов экспериментов.*

Ключевые слова: *кизельгуровый шлам, пиролиз, термическая регенерация, реактор.*

С целью выбора наиболее приемлемого способа пиролиза кизельгурового шлама был проведен ряд экспериментальных исследований.

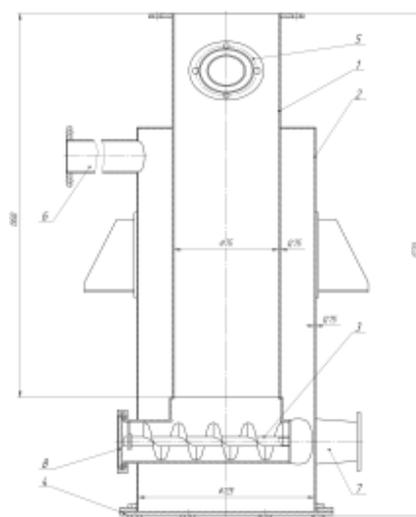
В состав схемы экспериментальной установки (рисунок 1) входят следующие элементы: вертикальный пиролизный реактор с рубашкой 1, двойная шиберная заслонка 2, горелка 3, воздушный кожухотрубчатый конденсатор 4, вентилятор 5, емкость – сборник жидкой фракции 6, каплеотбойник 7, фильтр 8 и вентилятор 9. Все элементы установки соединены между собой системой трубопровода 10 и крепятся на раме 11. Трубопровод между реактором и конденсатором снабжен сбросным клапаном, на этом же трубопроводе расположена термопара для измерения температуры выходящей парогазовой смеси. Для обеспечения и контроля заданного режима утилизации и безопасного проведения эксперимента внутри реактора также располагается термопара [13, 15].

Реактор (рисунок 2) в свою очередь состоит из следующих основных элементов: корпус реактора 1, рубашка 2, выгрузатель 3, патрубок парогазовой смеси 4, патрубок топочных газов 5, нижний патрубок рубашки 6, фланец байонетный 7.



1 – пиролизный реактор, 2 – двойная шиберная заслонка, 3 – горелка, 4 – конденсатор, 5 – вентилятор, 6 – емкость сборник, 7 – каплеотбойник, 8 – фильтр, 9 – вентилятор, 10 – система трубопровода, 11 – рама

Рисунок 1- Схема пиролизной экспериментальной установки



1 – корпус реактора, 2 – рубашка, 3 – выгрузатель, 4 – днище, 5 – патрубок парогазовой смеси, 6 – патрубок топочных газов, 7 – нижний патрубок рубашки, 8 – фланец байонетный

Рисунок 2 – Пиролизный реактор

Снаружи корпус реактора 1, выполненный из стали 08Х18Н10Г, снабжен рубашкой 2, внутри которой циркулируют продукты горения топлива, обогревающие реактор и обеспечивающие процесс пиролиза. К рубашке 2 приварены опоры, с помощью которых реактор устанавливается на раме. К фланцу корпуса сверху крепится двойной шибер, через который производится загрузка сырья.

К фланцевому соединению нижнего патрубка рубашки 7 тангенциально крепится горелка, продукты сгорания от которой служат для обогрева реактора 1.

Для удаления из системы, поднимающегося снизу-вверх потока топочных газов в рубашке 2 служит патрубок топочных газов. В нижней части реактора смонтирован выгрузатель 3. Установка периодического действия, поэтому во время работы разгрузочное устройство закрыто байонетным фланцем 8. Для разгрузки зольного остатка предназначен

шнековый выгрузатель 3. Для отвода из реактора 1 парогазовой смеси, полученной в процессе пиролиза, установлен верхний патрубок 5. Кроме этого, для исключения тепловых потерь в окружающую среду и обеспечения безопасности при работе с установкой, снаружи реактор предусмотрена теплоизоляция в виде листов минеральной ваты.

Исходное сырье вручную загружается в питающее устройство (двойной шибер 2 и по мере необходимости (в среднем одна доза сырья направляется в реактор 1 через каждые 20...30 минут) выдается в реактор 1, обогреваемый продуктами сгорания горелки 3. Здесь сырье подвергается пиролизной переработке при поддерживаемой температуре 350 – 550 °С. Парогазовая фракция отводится через верхний патрубок реактора в кожухотрубчатый конденсатор 3, охлаждаемый воздухом от вентилятора 5, где часть парогазовой смеси с более высокой температурой кипения охлаждается, конденсируется в нижней части и выводится в сборник жидкой фракции 3, а неконденсированная фракция через систему трубопроводов 10 направляется в каплеотбойник 7 и попадает в фильтр 8 и во всасывающий патрубок вентилятора 9, а затем в атмосферу. Уловленная жидкость попадают в сборник 6, а затем в канализацию. Измеряемые параметры режима утилизации выводятся на экран шкафа управления (не показан). Термопары производят замер температур парогазовой смеси, температуры внутри реактора и жидкой фракции соответственно.

В реакторе (рисунок 2) поток топочных газов поднимается снизу-вверх по рубашке 2 и через патрубок топочных газов 6 удаляется из системы. После завершения процесса необходимо время, чтобы реактор немного остыл, и затем производится разгрузка зольного остатка шнековым выгрузателем 3. Полученная в процессе парогазовая смесь отводится из реактора через верхний патрубок 5 в конденсатор. Кроме этого, для исключения тепловых потерь в окружающую среду и обеспечения безопасности при работе с установкой, снаружи реактор предусмотрена теплоизоляция в виде листов минеральной ваты.

Для близкой имитации промышленной переработки кизельгуrowого шлама пивоваренного производства после серии опытов с загрузкой в реактор небольших объемов пиролизная установка была опробована при циклической загрузке с возможным заполнением на половину реактора. Устанавливаемая температура в реакторе 450 °С. Полученные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения параметров проводимого процесса

	Продолжительность цикла, мин	t °С в реакторе	t °С парогазовой фракции	t °С в сборнике	t °С выходящих газов	t °С топочных газов
1	2	3	4	5	6	7
Вид сырья	Отработанный кизельгур					
1	0	467,9	61,2	25,7	23	65,7
2	30	450,9	101,1	26	25,5	62,5
3	60	451,2	94,1	26	27,4	67,8
4	90	427,7	103,7	25,5	29,4	70,5
5	120	441,8	94,9	25	32	72,3
6	150	465,8	90,2	24,7	31,5	71,5
7	180	457,3	83,4	24,8	30,9	70,4

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
8	210	432,5	104,8	24,9	31,9	71,3
9	240	433,6	113,2	24,9	34,1	70,2
10	270	463,1	96,8	24,8	32,8	69,7
11	300	442,5	92,8	25,1	32,8	68,9
12	330	428,5	103,5	25,2	33,6	67,6
13	360	452,7	110,7	25,1	31,8	64,3
Итого:	360	–	–	–	–	30

На рисунке 3 представлена графическая зависимость температур выходящих продуктов и температуры самого пиролиза во время процесса пиролиза.

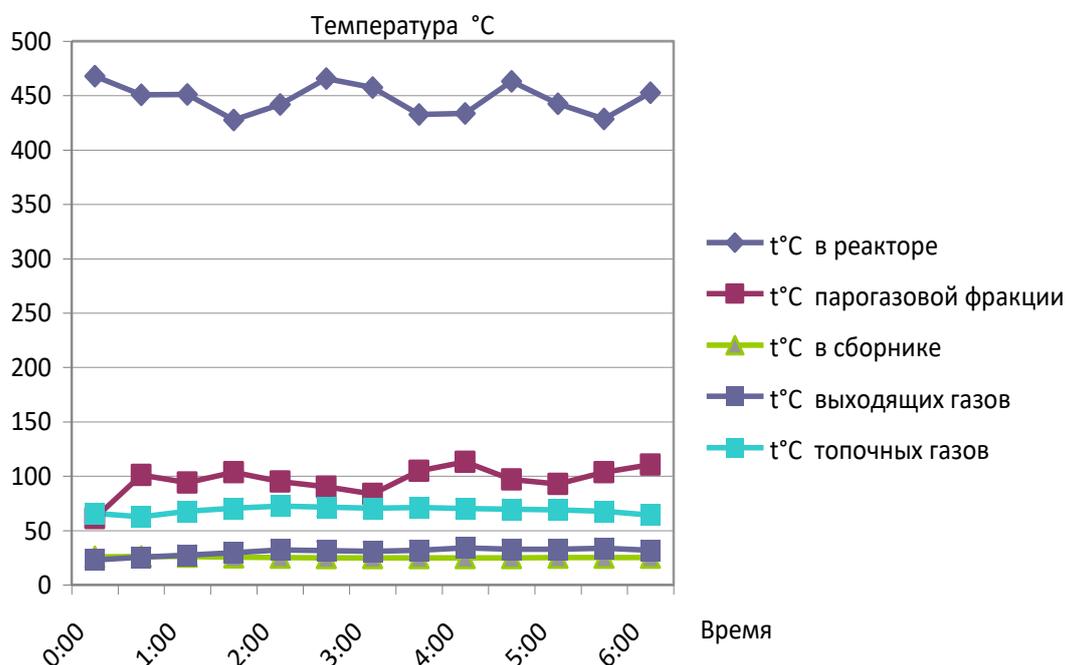


Рисунок 3 – Зависимость температур пиролиза от времени процесса

В процессе каждой загрузки наблюдалось небольшое падение температуры в реакторе при внесении новой порции сырья. А также происходило колебание в процессе пиролиза температуры парогазовой фазы.

Таблица 2 – Данные ДМЦ

Время цикла, мин	Давление А, Па	Скорость V, м/с	Средняя скорость М, м/с	Расход Q, м ³ /ч	Концентрация H ₂ S, мг/дм ³	Концентрация CO ₂ , %	Концентрация CH ₄ , %
1	2	3	4	5	6	7	8
0	14,61	3,1	3,1	4,14	1,7	0,02	-
30	15,82	3,9	2,9	4,46	0,3	0,18	-
60	13,87	3,4	2,7	4,95	0,6	0,4	-

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8
90	12,88	3,4	2,9	5,27	1	0,34	-
120	13,56	3,5	3	5,5	0,4	0,34	-
150	12,14	3,3	3,1	5,59	0,4	0,26	-
180	14,67	3,7	3,1	5,74	0,7	0,22	-
210	13,17	3,5	3,2	5,81	1,8	0,22	-
240	16,35	3,9	3,3	5,95	2,4	0,25	-
270	15,96	3,6	3,3	6,05	0,4	0,23	-
300	17,64	4	3,4	6,16	1,9	0,23	-
330	18,66	4,1	3,4	6,27	2,3	0,26	-
360	17,68	3,8	3,4	6,1	0,4	0,2	-

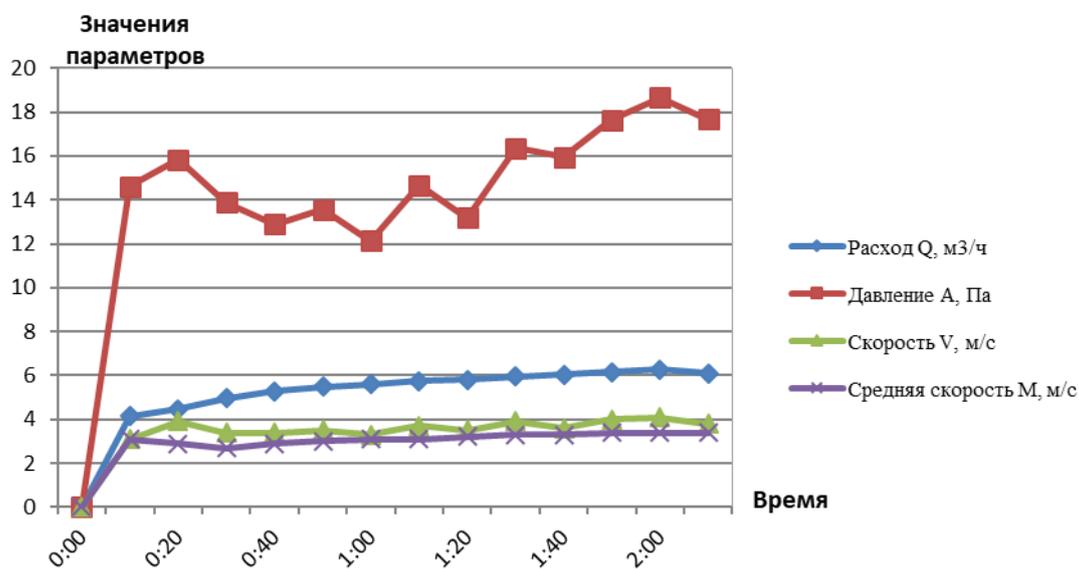


Рисунок 4 – Зависимость показаний ДМЦ от времени процесса

Таблица 3 – Температура поверхности оборудования

Время цикла, мин	Зона загрузки	п/г смесь					Конденсатор					сборник	каплеотбойник		вентилятор	Труба топ. газов	
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		13	14			15
0	30,3	55,3	36,3	37,4	28,7	24,9	24	24	25,7	23,1	20,6	23	23,2	22,3	26,3	25,5	58,9
10	37,5	65,8	35,5	43,2	41,8	29,3	29,5	28,5	29,2	27,6	23,6	24,5	26,9	28,5	31,5	27,4	65,8
20	33,2	10,2	39,7	59,1	59	39	36,9	37,6	56,5	35	24,6	24,8	27,8	30,1	29,1	29,4	89,7

Окончание таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
30	35,8	94,2	43,5	56,4	56,9	37,3	34,8	38,7	37,5	33,2	25	24,8	31,5	32,7	28,9	32	78,6
40	36	97,7	42,6	59,8	58,4	36,6	37,3	39,8	45,8	35,9	25,5	23,7	32	34,6	31,4	31,5	79,4
50	33,9	84,1	38,3	57,5	56,3	37,6	37,5	39,3	36,1	35,5	26,1	22,5	33	34,6	30	30,9	78,2
60	35,6	86	42,6	59,9	58,7	39,6	38,8	41,1	44,7	36,7	25,5	21,4	30,8	36	29,5	31,9	68,3
70	38	86,4	43,9	60	58,9	39,8	39,2	41	43,2	37,2	27,9	20,8	33,1	35,1	29,9	34,1	65,4
80	38,6	89,1	43,2	65	54,5	43,2	39,2	43,6	40,3	37,3	29,2	20,9	31,1	35,6	30,4	32,8	78,5
90	37	94,1	42	65,7	55	37	37	37,1	35,7	37,5	27,1	20,5	31	35,7	31,1	32,8	73,6
100	39,5	76,8	45	57	61,3	37,3	36,5	35,9	38,6	38,5	27,5	21,6	32,1	36,3	29,7	33,6	64,3
110	36,8	86,2	43,3	57,6	59,3	38,1	36,8	38,9	37,8	37,5	27	20,9	30,8	35,3	29,3	31,8	52,6
120	37,6	81,5	44,5	57,2	58,4	37,9	37,1	37,8	37,3	38,2	27,2	21,2	30,5	35,1	29,1	30,5	48,6

Таблица 4 – Материальный баланс пиролиза кизельгурового шлама

Материал	Масса исходная, Г	Масса Влаг		Органики (летучие)		Остаток (неорганика)	
		г	%	Г	%	г	%
Отработанный кизельгур	1,37	0,97	70,8	0,07	5,1	0,33	24,1
Переработанный остаток	1,683	0,35	20,8	0,053	3,15	1,28	76,05
Не переработанный	2,047	1,06	51,8	0,09	4,38	0,897	43,82
Чистый кизельгур	0,3	0,1	33,3	0,05	16,7	0,15	50

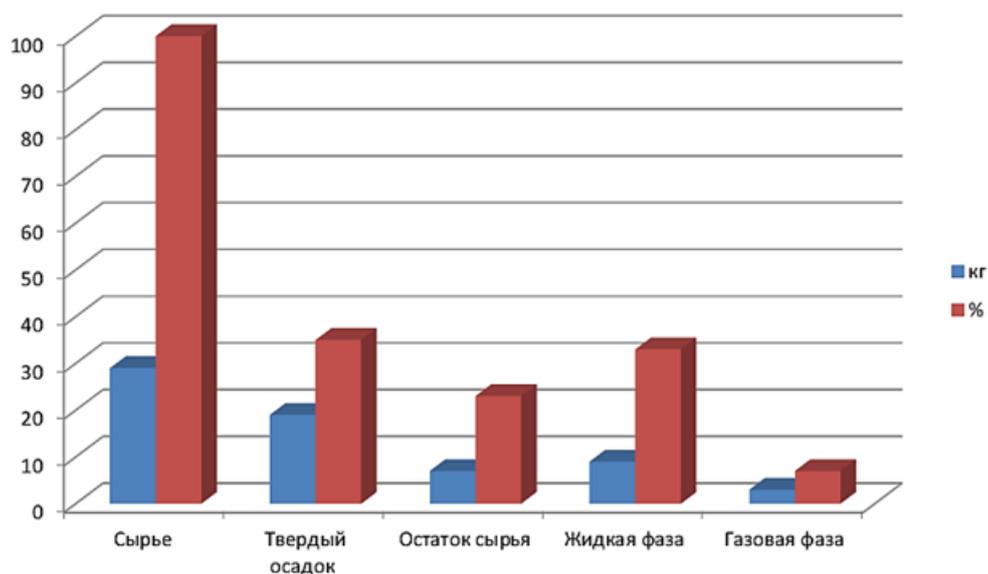


Рисунок 5 – Выход продуктов пиролиза отработанного кизельгура

При выгрузке продуктов было заметно, что часть сырья осталась не переработанной. Поэтому для исследования в лаборатории было взято несколько проб. Полученные результаты представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Данные лабораторного исследования

Материал	Масса исходная, г	Масса влаги		Органика (летучие)		Остаток (неорганика)	
		г	%	г	%	г	%
Отработанный кизельгур	1,37	0,97	70,8	0,07	5,1	0,33	24,1
Переработанный остаток	1,683	0,35	20,8	0,053	3,15	1,28	76,05
Не переработанный	2,047	1,06	51,8	0,09	4,38	0,897	43,82
Чистый кизельгур	0,3	0,1	33,3	0,05	16,7	0,15	50

В переработанной части остатка доля сухого остатка преобладает, по сравнению с чистым сырьем влаги в этом продукте намного меньше. Однако в не переработанном остатке, как и в исходном сырье, большую часть составляет влага.

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF PROCESSING OF KIESELGUHR SLUDGE

S. V. SHAKHOV

mapp.vsuet@mail.ru
 Voronezh State University of Engineering Technologies,
 Voronezh, Russia

Abstract. An experimental setup for the pyrolysis of kieselguhr sludge is presented. To closely simulate the industrial processing of kieselguhr sludge from brewing production, after a series of experiments with loading small volumes into the reactor, the pyrolysis unit was tested with cyclic loading with possible filling on the reactor floor with experimental results.

Key words: Kieselguhr sludge, pyrolysis, thermal regeneration, reactor.

УДК 502/504

ТЕХНОГЕНЕЗ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ РОССИИ В ИСТОРИИ ПАНДЕМИИ 2020 - 2021 ГОДА

А. А. КУРБАТОВА¹, Л. С. ЧЕРНОВА²

mail@vokb1.zdrav36.ru
¹Воронежская областная клиническая больница,
 г. Воронеж, Россия

²ФБГОУ ВО Воронежский государственный университет,
 г. Воронеж, Россия

Аннотация. В статье систематизированы данные по уровню заболеваемости COVID-19 населения областей центральной России, отличающиеся различными уровнями воздействия горнопромышленных комплексов. Выявлено, что значимые корреляции между плотностью данных техногенных объектов, уровнями заболеваемости, количеством летальных исходов отсутствуют. Данное обстоятельство предполагает наличие иных источников воздействия, которые должны быть выявлены в результате дальнейших исследований.

Ключевые слова: техногенез, комплекс, добыча, переработка, уровень, заболеваемость, COVID-19, население, области, центр, Россия.

Существует взаимосвязь между комфортностью среды обитания и уровнем заболеваемости. Комфортность в первую очередь зависит от техногенной нагрузки на территории. Под влиянием химических факторов производственной среды происходят патологические изменения в различных органах и системах, функциональные, морфологические и генетические сдвиги в организме, т.е. создается фон в виде различных заболеваний дыхательной, сердечно-сосудистой, эндокринной, иммунной и других систем, способствующих нарушению здоровья [1].

Выявлено несколько групп факторов, которые вызывают отрицательное воздействие на здоровье человека. Это микробиологические, физические и химические факторы. В таблице 1 приведен пример экологических факторов, их категории и основные риски, возникающие в виде проявления отдельных заболеваний.

Таблица 1 – Пример экологических факторов, их категории и основные риски

Экологический фактор	Основные категории	Основной риск для человека
Микробиологический	Патогенные Микроорганизмы	Инфекции и заболевания
Физический	Шум Радиоактивность Ультрафиолетовое излучение	Повышенный фактор стресса Увеличение заболеваемости раком Рак кожи
Химический	Искусственные или природные вещества	Различные виды интоксикации вследствие воздействия опасных веществ

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.

Анализ особенностей развития и техногенной трансформации эколого-геохимических и эколого-геофизических функций геосфер горнопромышленных районов для более детального исследования был проведен на примере Центрально-Черноземного экономического района (ЦЧЭР). В его пределах в настоящее время функционирует более 20 промышленных карьеров, в которых добываются рудные и нерудные полезные ископаемые. В процессе буровзрывных работ на поверхность в зависимости от масштаба открытой разработки месторождения выбрасывается от нескольких до десятков тысяч тон вещества в год. Типология источников техногенной трансформации экологических функций геосфер для горнопромышленных районов выполнена на основе анализа особенностей добываемых полезных ископаемых, способов добычи, формируемых эколого-геохимических и эколого-геофизических последствий горнодобывающей и перерабатывающей деятельности. Данная типизация легла в основу выделения ключевых участков для анализа особенностей развития и техногенной трансформации эколого-геохимических и эколого-геофизических функций геосфер горнопромышленных регионов с потенциальными и реальными источниками повышенной экологической опасности.

Данные исследования были проведены с целью определения влияния горнодобывающей деятельности на общую картину неблагополучия по заболеваниям COVID-19. Согласно современным представлениям, уровень заболеваемости в значительной степени зависит от

уровня иммунитета людей. Горнодобывающая деятельность в разной степени воздействует на иммунную систему населения, проживающего в зоне воздействия объектов добывающей и перерабатывающей промышленности. Исследования проводились на базе данных государственной статистической службы Российской Федерации. Они были систематизированы в виде коэффициентов заболеваемости – 1 чел./1000 и представлены в виде графика (рисунок 1 – 2) на период наблюдений март 2020 года – март 2022 года.

Полученные данные не выявили значимой взаимосвязи между проявленностью горно-промышленной деятельности и уровнем заболеваемости COVID-19. Более техногенно нагруженный регион – Белгородская область- характеризуется более низкими уровнями заболеваемости на разных этапах наблюдений. Так в моменты обострений эпидемиологической ситуации коэффициент заболеваемости в Белгородской области на 35-40% ниже, чем в Воронежской области. Аналогичная ситуация наблюдается по показателям летальных исходов (Рисунок 3 – 4), что свидетельствует о иных источниках формирования зависимости заболеваемости от экологических факторов. Следует подчеркнуть, что полученные выводы не касаются иных нозологических видов заболеваний, относительно которых выявлены корреляционные зависимости данных показателей.

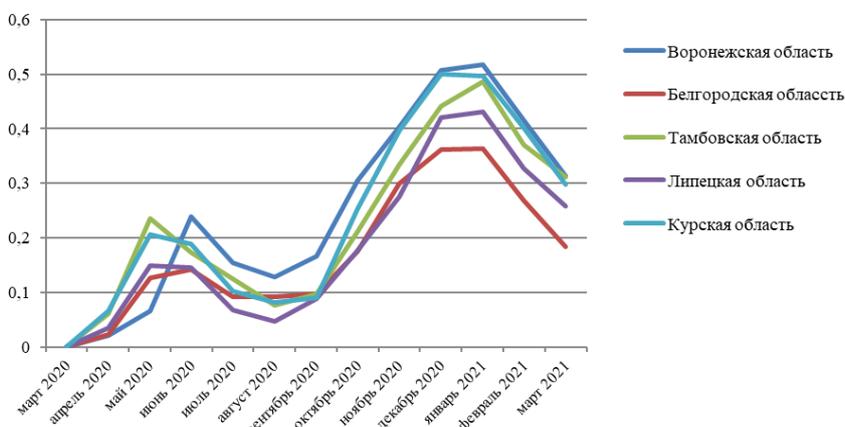


Рисунок 1 – Процент заболеваемости населения COVID-19 на территории Центрально-Черноземного экономического региона в период с марта 2020 года по март 2021 года

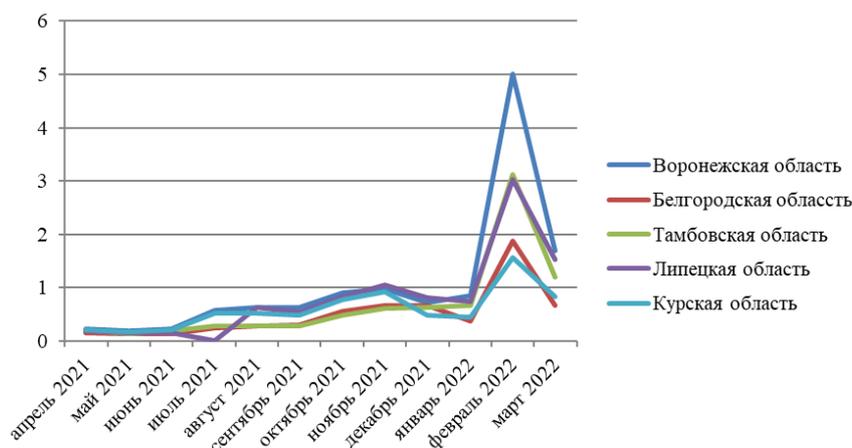


Рисунок 2– Процент заболеваемости населения COVID-19 на территории Центрально-Черноземного экономического региона в период с апреля 2021 года по март 2022 года

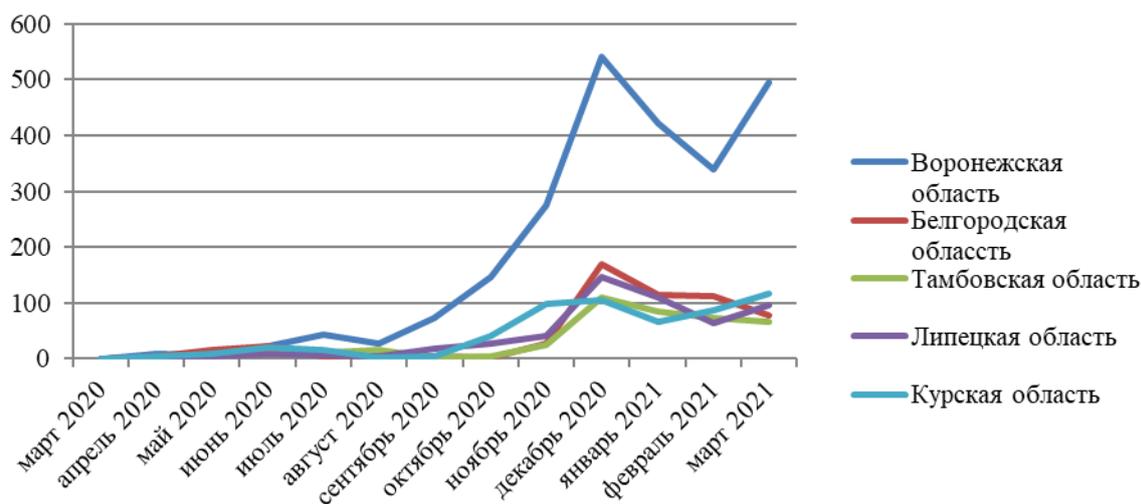


Рисунок 3 – Сравнительная оценка количества летальных исходов от COVID-19 на территории Центрально-Черноземного экономического региона в период с марта 2020 года по март 2021 года

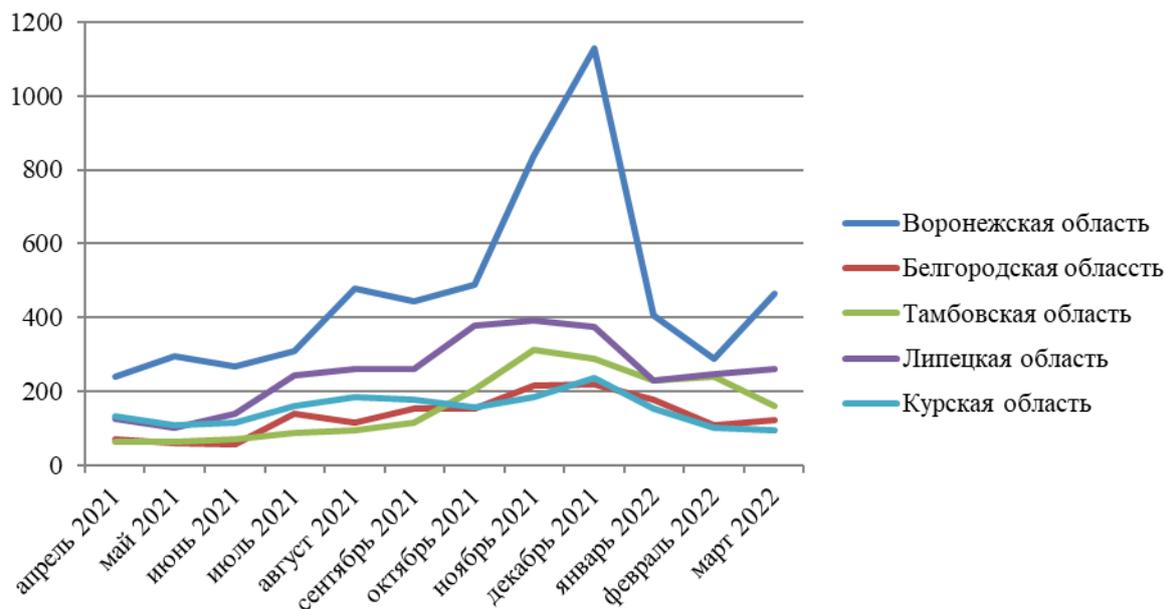


Рисунок 4 – Сравнительная оценка количества летальных исходов от COVID-19 на территории Центрально-Черноземного экономического региона в период с апреля 2021 года по март 2022 года

В качестве рекомендаций следует рекомендовать проведение спектра научных исследований, связанных с экологическим обоснованием комфортности среды обитания в пределах крупных горнопромышленных комплексов.

Список литературы

1. Бударина, В.А. Экологические аспекты горнодобывающей и перерабатывающей деятельности при разработке Еланского месторождения сульфидных медно-никелевых руд / Бударина В.А., Косинова И.И., Капустина Ю.Г. // М. : Изд-во Научная книга, 2022. – 141 с.

TECHNOGENESIS OF MINING COMPLEXES OF THE CENTRAL PART OF RUSSIA IN THE HISTORY OF THE PANDEMIC 2020-2021

A. A. KURBATOVA¹, L. S. CHERNOVA²

mail@vokb1.zdrav36.ru

¹*Voronezh Regional Clinical Hospital,
Voronezh, Russia*

²*FBGEI HE Voronezh State University
Voronezh, Russia*

Abstract. *The article systematizes data on the incidence of COVID-19 in the population of the regions of central Russia, differing in different levels of impact of mining complexes. It is revealed that there are no significant correlations between the density of these technogenic objects, morbidity rates, and the number of deaths. This circumstance suggests the presence of other sources of exposure, which should be identified as a result of further research.*

Key words: *technogenesis, complex, mining, processing, level, morbidity, COVID-19, population, regions, center, Russia.*

УДК 550.4

ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПЫЛЕВОЙ НАГРУЗКИ ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГРАНИТНОГО СЫРЬЯ

И. И. КОСИНОВА, Д. О. СОПИН, А. Л. ЮЮКИНА

kosinova777@yandex.ru

*ФБГОУ ВО Воронежский государственный университет,
г. Воронеж, Россия*

Аннотация. *В статье представлены результаты исследований интенсивности пылевого загрязнения прилегающих территорий в районе предприятия по добыче и переработке гранитов. Выявлено, что в радиусе 2 километров формируется зона дискомфорта и экстремально низкого уровня комфортности среды обитания. Максимальная толщина пылевых покрытий составляет 2 мм, минимальная – от 0,2 до 0,3 мм. Кремнистый состав пылей формирует неканцерогенные риски органов дыхания.*

Ключевые слова: *оценка, пыль, предприятие, добыча, переработка, граниты, растительность, зона, воздействия, экологические риски.*

Эколого-геологические исследования, проведенные в пределах центральной части России, выявили, что отдельные территории систематизируются по типам горнопромышленных районов [1]. Первые включают месторождения рудных и нерудных полезных ископаемых, вторые характеризуются наличием исключительно нерудного сырья. Преобразование экологических функций геосфер в пределах районов второго типа в значительной мере ниже по эколого-геохимическим и эколого-геофизическим показателям. Однако данные месторождения, как в процессе добычи, так и в процессе переработки отличаются значительным количеством выбросов пыли. Данное обстоятельство в значительной степени понижает комфортность среды обитания в зоне воздействия объектов горнопромышленного комплекса второго типа. Целью наших исследований стало изучение влияния добычи гранитов Шкурлатовского месторождения, расположенного в пределах Павловского района Воронежской области. ОАО «Павловск неруд» специализируется на добыче и производстве гранитного щебня.

Месторождение гранитов находится в 11 километрах на юго-восток от города Павловск и в 7 километрах к востоку от реки Дон, на левом берегу, вскрыто карьером, работающим с 1976 года. Горно-обогатительный комбинат, работающий при карьере производит высококачественные строительные материалы: щебень различной фракции и отсев. Он располагается на 4 производственных площадках: площадка № 1 – дробильно-сортировочный завод (ДСЗ) и вспомогательные подразделения; площадка №2 – карьер, отвал №1 и отвал № (ст. Породная); площадка №3 – очистные сооружения с котельной; площадка №4 – цех по производству гранэмита (эмульсионных взрывчатых веществ) [2]. 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]. Глубина карьера достигает 110 метров. Добыча производится буровзрывным способом. Карьер располагается в непосредственной близости с городом Павловск, в непосредственной близости располагаются следующие сельские поселения: Гаврильск, Каменск, Преображенка, Мамоновка, Царёвка. Для оценки влияния ГОКа на перечисленные населенные пункты было проведено опробование запыления растительности в направлении северо-востока. Это связано с тем, что основными ветрами на данной территории являются юго-западные ветра. В рамках проводимых исследований было выявлено, что ведущим источником загрязнения является пыление от отвалов отсева гранита. Точки первой линии отбора проб были ориентированы по направлению ветра, точки второй линии отбора проб были ориентированы в крест направления основного ветрового переноса. Для проведения анализа выделялась оценочная площадка, размером 1м x 1м, в рамках которой проводился анализ запыления травянистой растительности.

Для дальнейшей оценки полученных результатов нами разработана градация оценки экологической ситуации по интенсивности запыления листового покрова растительности в районе карьера, представленная в таблице 1.

Таблица 1 – Классификация экологической ситуации по показателю запыления листовых пластин

Показатель, %	Экологическая ситуация
80-100	экологическое бедствие
50-80	экологический кризис
20-50	экологический риск
< 20	норма

Результаты проведенных исследований представлены на рисунке 1.

Схема демонстрирует преимущественное воздействие на процесс пыления отвалов отсева переработки гранитов, расположенных севернее карьера. Здесь в радиусе 2 километров растительность находится в условиях экологического бедствия и кризиса. Аномальная зона вытянута в данном направлении согласно розе ветров. В радиусе от 2 до 5 км фиксируется состояние экологического риска. Данная зона эколого-биотической аномалии обрамляет карьер и отвалы отсева гранитов. Нормальное состояние растительности наблюдается на расстоянии от 5,5 до 5 километров от основных источников воздействия. Визуально запыление наблюдается в виде покрытия листовой пластины пылевым слоем различной мощности. Так в непосредственной близости от источников толщина покрытия составляет около 2 мм, в зоне экологического риска она уменьшается до 1-0,5 мм. По химическому составу пыль в основном состоит из окиси кремния (70 – 20 % SiO₂). Она формирует дискомфортную среду обитания по показателю неканцерогенного риска.

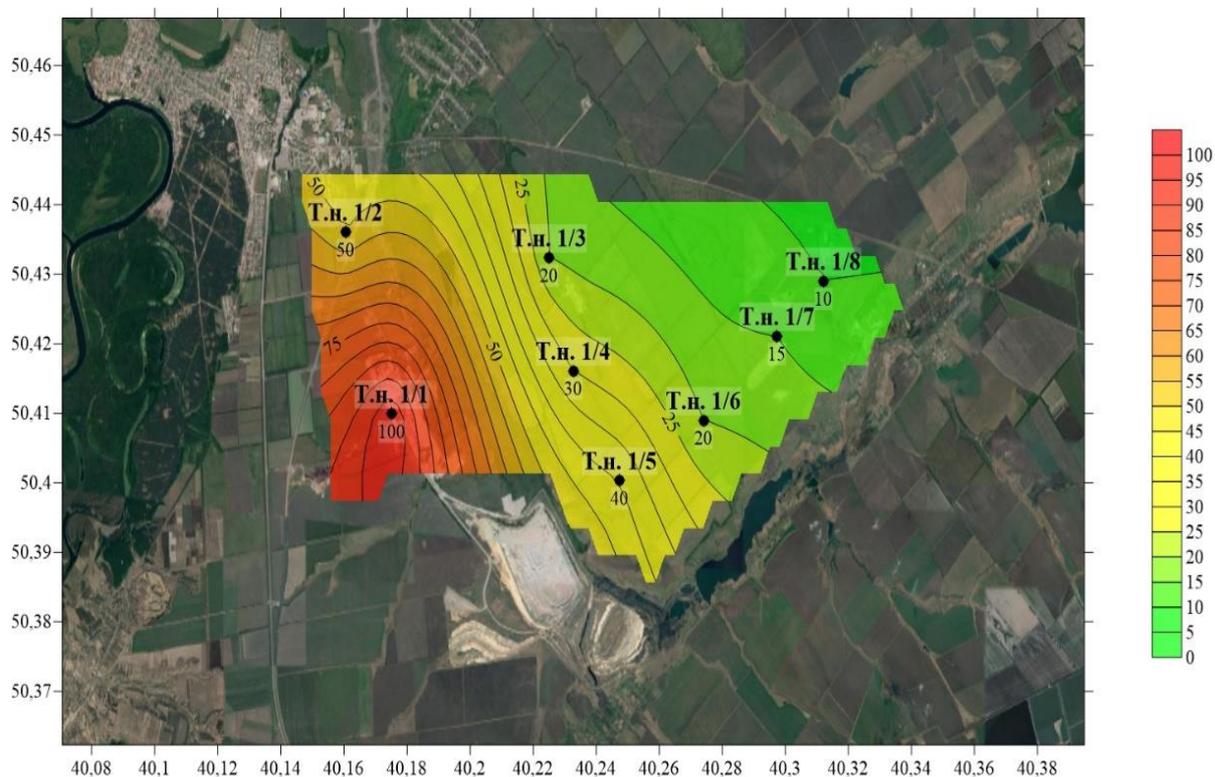


Рисунок 1 – Схема экологической оценки экологического состояния зоны воздействия предприятия по добыче и переработке гранитов

В процессе проведенной работы выявлено следующее:

1. Основными источниками загрязнения на выделенной территории является Павловский ГОК, а также отвалы отсевов гранита.

2. Дискомфортная и экстремальная оценки комфортности среды обитания фиксируются в радиусе до 2 км от основных объектов ГОКа. Зона от 2 до 5 км отнесена к зоне экологических рисков.

3. Пыли гранитов формируют неканцерогенные риски высоких уровней воздействия, в основном проявляются на уровне экологически зависимых заболеваний дыхательных органов.

Исследования выполнены при поддержке международного гранта БРФФИ № Х20Р-284 и РФФИ № 20-55-00010/20 «Закономерности трансформации экологических функций геосфер крупных горнопромышленных регионов».

Список литературы

1. Косинова, И.И. Закономерности преобразования экологических функций литосферы в горнодобывающих районах центральной части России / Закономерности трансформации экологических функций геосфер крупных горнопромышленных районов / под ред. И.И. Косиновой / Сборник научных статей // Научная книга, Москва, 2022. – 169 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.

ECOLOGICAL AND GEOLOGICAL ASSESSMENT OF THE DUST LOAD DURING THE OPEN DEVELOPMENT OF THE GRANITE RAW MATERIAL DEPOSIT

I. I. KOSINOVA, D. O. SOPIN, A. L. YUYUKINA

kosinova777@yandex.ru
FBGEI HE Voronezh State University
Voronezh, Russia

Abstract. *The article presents the results of studies of the intensity of dust pollution of the adjacent territories in the area of the enterprise for the extraction of granites. It is revealed that within a radius of 2 kilometers a zone of uncomfortable and extreme levels of comfort of the habitat is formed. The maximum thickness of dust coatings is 2 mm, the minimum is from 0.2 to 0.3 mm. The siliceous composition of dust forms non-carcinogenic risks of the respiratory system.*

Key words: *assessment, dust, enterprise, mining, processing, granites, vegetation, zone, impacts, environmental risks.*

Научное электронное издание

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ
ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ГЕОСФЕР
КРУПНЫХ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ РЕГИОНОВ**

II Международная научно-практическая конференция

(Гомель, 10–15 мая 2022 года)

Сборник материалов

Подписано к использованию 14.06.2022.

Объем издания 7,72 МБ

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1452 от 17.04.2017.

Специальное разрешение (лицензия) № 02330 / 450 от 18.12.2013.

Ул. Советская, 104, 246028, Гомель.

<http://conference.gsu.by>