

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДРЕНАЖНЫХ ВОД СОЕДИНЕНИЯМИ АЗОТА НА ПРИМЕРЕ КАРЬЕРА КРУПНОГО ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

А. В. Хохряков, А. Г. Студенок, Г. А. Студенок

Investigation of formation processes of drainage waters chemical contamination with nitrogen compounds on the example of major mining enterprise

A. V. Hohryakov, A. G. Studenok, G. A. Studenok

An important ecological aspect of work of all mining enterprises that use drilling-and-blasting mining of rock mass with the application of industrial explosive agents (poremite, granemite, igdanite and others) based on ammonium nitrate is inevitable contamination of drainage waters with nitrogen compounds (ammonium ion NH_4^+ , ion nitrate NO_2^- and ion nitrate NO_3^-). These drainage waters that are pumped out during drainage of deposits as a rule are discharged into surface water bodies which leads to their contamination. Execution of stringent requirements of environmental regulation based on protection of water bodies from contamination with nitrogen compounds during discharge of drainage waters dictates the need for selection and development of optimal from the standpoint of eco-economic positions technology of purification. Researching of formation processes of their chemical composition based on contaminated compounds and volume of drainage waters that are subject for cleaning for mining enterprises is necessary for this purpose. This article explores formation processes of chemical contamination of drainage waters with nitrogen compounds that are done in conditions of large pit of construction industry for the purpose of determining possible drainage water purification technologies. Results of research are used by the investigated enterprise during development of drainage water purification technology from nitrogen compounds and optimization of water treatment facilities work depending on the natural and man-caused factors taking into consideration specific conditions of enterprise and its infrastructure (connection of mass of nitrogen compound losses with the seasonality of water inflows, volume of rock mass, types of applied explosive agents).

Keywords: contamination of aquatic resources; drilling and blasting operations; drainage waters of pits; ammonia nitrogen; nitrite-nitrogen; nitrate-nitrogen; pit sump.

Важным экологическим аспектом работы всех горнодобывающих предприятий, использующих буровзрывную подготовку горной массы с применением промышленных взрывчатых веществ (порэммит, гранэммит, игданит и др.) на основе аммиачной селитры, является неизбежное загрязнение дренажных вод соединениями азота (ион аммония NH_4^+ , ион нитрита NO_2^- и ион нитрата NO_3^-). Эти дренажные воды, откачиваемые при осушении месторождений, как правило, сбрасываются в поверхностные водные объекты, приводя к их загрязнению. Выполнение ужесточающихся требований природоохранного законодательства по охране водных объектов от загрязнения соединениями азота при сбросе дренажных вод обуславливает необходимость выбора и разработки оптимальной с эколого-экономических позиций технологии их очистки. Для этого необходимо изучение процессов формирования их химического состава по загрязняющим веществам и объема дренажных вод, подлежащих очистке, для горнодобывающих предприятий. В статье рассмотрены процессы формирования химического загрязнения дренажных вод соединениями азота, исследованные в условиях крупного карьера строительной индустрии с целью определения возможных технологий очистки дренажных вод. Результаты исследований использованы рассматриваемым предприятием при разработке технологии очистки дренажных вод от соединений азота и оптимизации работы очистных сооружений в зависимости от природных и техногенных факторов с учетом конкретных условий предприятия и его инфраструктуры (связь массы выноса соединений азота с сезонностью водопритока, объемом горной массы, видов применяемых ВВ).

Ключевые слова: загрязнение водных ресурсов; буровзрывные работы; дренажные воды карьеров; аммонийный азот; нитритный азот; нитратный азот; карьерный водоотлив.

Буровзрывная подготовка горной массы с применением промышленных взрывчатых веществ (порэммит, гранэммит, игданит) на основе аммиачной селитры (нитрат аммония NH_4NO_3) при разработке обводненных месторождений приводит к загрязнению дренажных вод горных выработок соединениями азота (ионы аммония NH_4^+ , ионы нитрита NO_2^- и ионы нитрата NO_3^-). Дренажные воды, откачиваемые при осушении месторождений, как правило, сбрасываются в поверхностные водные объекты, приводя к их загрязнению. Данная проблема характерна практически для всех предприятий горнодобывающего комплекса [1–4]. В Свердловской области это ОАО «Качканарский горно-обогатительный комбинат», ОАО «Ураласбест», ОАО «Высокогорский горно-обогатительный комбинат» и другие предприятия горнопромышленного комплекса, строительной индустрии с открытым и подземным способами добычи, использующие буровзрывную подготовку горной массы.

Выполнение требований природоохранного законодательства по охране водных объектов от загрязнения соединениями азота при сбросе дренажных вод обуславливает необходимость выбора и разработки оптимальной, с эколого-экономических позиций, технологии их очистки

[5]. Для этого необходимо изучение процессов формирования их химического состава по загрязняющим веществам и объема дренажных вод, подлежащих очистке.

По результатам ранее выполненных исследований в условиях крупного карьера установлено, что количество соединений азота, поступающих в дренажные воды при ведении взрывных работ, составляет от 3 до 4 % от количества азота, содержащегося в израсходованных взрывчатых веществах [6]. Поступление соединений азота в дренажные воды при ведении взрывных работ приводит к существенному превышению допустимого уровня их содержания в поверхностных и подземных водах, вызывая загрязнение водных объектов при сбросе в них дренажных вод.

Поступление в дренажные воды карьера ионов аммония (аммонийный азот) связано с растворением и вымыванием нитрата аммония при зарядке обводненных скважин. Загрязнение дренажных вод ионами нитрита (нитритный азот) связано с сорбцией горной массой образующихся при взрывах оксидов азота, их последующее вымывание атмосферными осадками и поступлением образующихся ионов нитрита в дренажные воды [7]. Поступление ионов нитрата в дренажные воды связано как с процессом растворения нитрата аммония в обводненных скважинах, так и с вымывание атмосферными осадками сорбированных горной массой оксидов азота (рис. 1).

Осушение карьера рассматриваемого горного предприятия производится дренажной шахтой через сеть водоспускных скважин, пройденных из зон ведения работ в горизонтальные подземные выработки

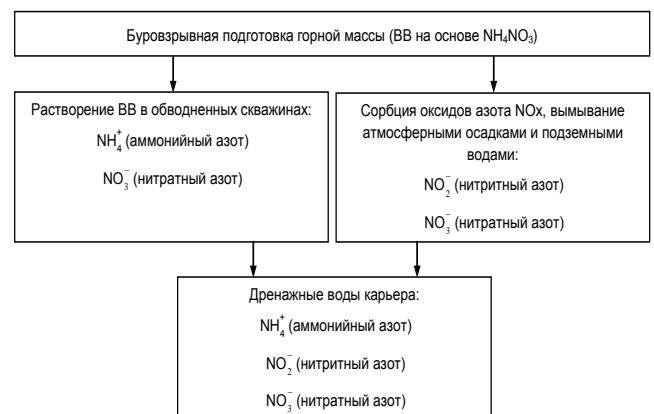


Рисунок 1. Источники поступления соединений азота в дренажные воды при ведении взрывных работ.

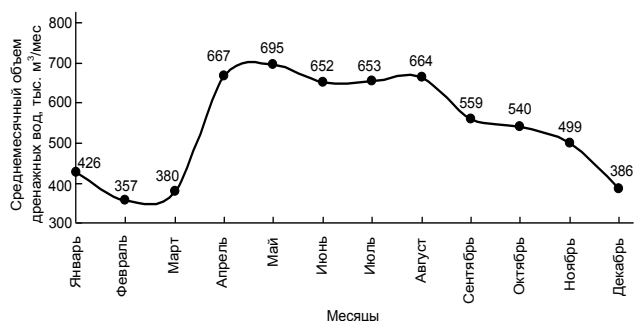


Рисунок 2. Среднемесячная динамика объема водоотлива.

(штреки), расположенные под дном карьера, с последующей откачкой воды на поверхность. Штреки в определенных местах разделены водонепроницаемыми переборками, оборудованными спускными трубами с задвижками, что позволяет затоплять часть выработок в периоды интенсивного притока и регулировать водоотлив, сглаживая пики паводков во времени. Откачка воды на поверхность производится насосами ЦНС-300/540, количественно объем откачиваемых дренажных вод определяется производительностью и временем работы насосов.

На рис. 2 приведена среднемесячная динамика объема водоотлива за период 2006–2015 гг.

Результаты наблюдений показывают, что в годовом разрезе за рассматриваемый период максимальные значения объемов образования дренажных вод (до 70 % годового объема дренажных вод) приходится на теплый период года (апрель–октябрь), что связано с природными факторами – снеготаянием и атмосферными осадками, выпадающими на водосборную площадь карьера предприятия.

Дренажные воды имеют высокий уровень природного и техногенного загрязнения. Состав дренажных вод хлоридно-гидрокарбонатный или гидрокарбонатно-хлоридный магниевый, минерализация 0,4–1,3 г/дм³, общая жесткость до 8,2–10,5 моль/дм³; рН до 8,5–9,5.

Анализ проб воды на соединения азота производится лабораторией по контролю производства с использованием следующих утвержденных методик серии ПНД Ф:

- аммонийный азот: фотометрический метод с реактивом Несслера;
- нитритный азот: фотометрический метод с сульфаниловой кислотой и α-нафтиламино;
- нитратный азот: фотометрический метод с салицилатом натрия.

Химический состав дренажных вод по соединениям азота, постоянно контролируемый лабораторией по контролю производства рассматриваемого горного предприятия (периодичность отбора проб 2 раза в месяц), позволяет установить количественные зависимости процессов загрязнения дренажных вод соединениями азота.

Анализ отчетных данных предприятия по качественному и количественному составу сбрасываемых дренажных вод показывает, что превышение концентраций соединений азота по сравнению с установленными нормативами ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения [8] составляет:

- аммонийный азот – в 15–30 раз;
- ион нитрита – в 50–150 раз;
- ион нитрата – в 2,0–3,5 раза.

Определяемые при проведении производственного контроля концентрации соединений азота в дренажных водах обусловлены вымыванием из горной массы соединений азота и позволяют оценить их количество как произведение среднемесячных концентраций на среднемесячный объем дренажных вод.

На рис. 3, а, б, в приведены данные по среднемесячным массам выноса соединений азота с дренажными водами карьера за период 2006–2015 гг.

Анализ результатов наблюдений за составом дренажных вод карьера по соединениям азота (рис. 3, а, б, в) показывает неравномерность их поступления в окружающую среду по периодам года (максимальная масса выноса характерна для теплого периода года).

Анализ результатов наблюдений за составом дренажных вод карьера по соединениям азота.

Период года	Объем дренажных вод, тыс. м³	Масса выноса соединений азота, т/период			Доля от годового выноса, %		
		Ион аммония	Ион нитрита	Ион нитрата	Ион аммония	Ион нитрита	Ион нитрата
Холодный период (ноябрь–март)	2048	15,9	19,2	212,5	21,0	31,5	31,0
Теплый период (апрель–октябрь)	4430	59,8	41,6	474,5	79,0	68,5	69,0
Итого	6478	75,7	60,8	687,0	100,0	100,0	100,0

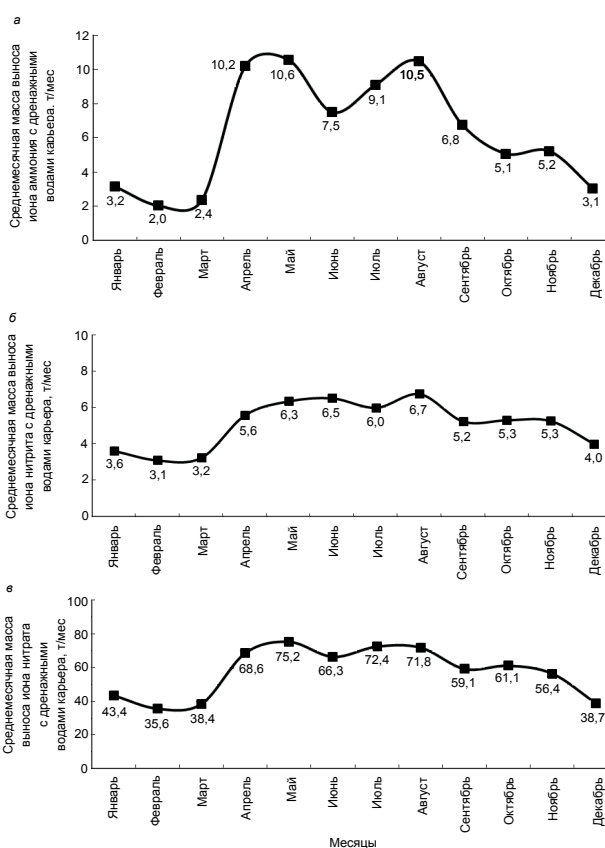


Рисунок 3. Среднемесячные массы выноса соединений азота с дренажными водами карьера. а – иона аммония NH_4^+ ; б – иона нитрита NO_2^- ; в – иона нитрата NO_3^- .

Сводные результаты анализа приведены в таблице.

Анализ результатов показывает следующее:

- 21% от среднегодового выноса иона аммония приходится на холодный период (ноябрь–март) и 79% от среднегодового выноса – на теплый период (апрель–октябрь);
- 31,5% от среднегодового выноса иона нитрита приходится на холодный период (ноябрь–март) и 68,5% от среднегодового выноса – на теплый период (апрель–октябрь);
- 31% от среднегодового выноса иона нитрата приходится на холодный период (ноябрь–март) и 69% от среднегодового выноса – на теплый период (апрель–октябрь).

Увеличение выноса соединений азота для теплого периода года связано с увеличением объемов образования дренажных вод за счет атмосферных осадков, выпадающих на водосборную площадь карьера (дождевые осадки и весеннее снеготаяние).

На рис. 4, а, б, в представлены графики зависимости изменения массы выноса соединений азота от объема откачиваемых дренажных вод.

Анализ представленных графиков показывает, что между массами выноса соединений азота и объемом карьерного водоотлива наблюдаются тесные, практически линейные зависимости, характеризующиеся значениями коэффициентов парной линейной корреляции, близких к единице: ион аммония – 0,97; ион нитрита – 0,95; ион нитрата – 0,99.

Таким образом, количество соединений азота в виде ионов аммония, нитрита и нитрата, поступающих из горной массы в дренажные воды, может быть охарактеризовано следующей линейной эмпирической

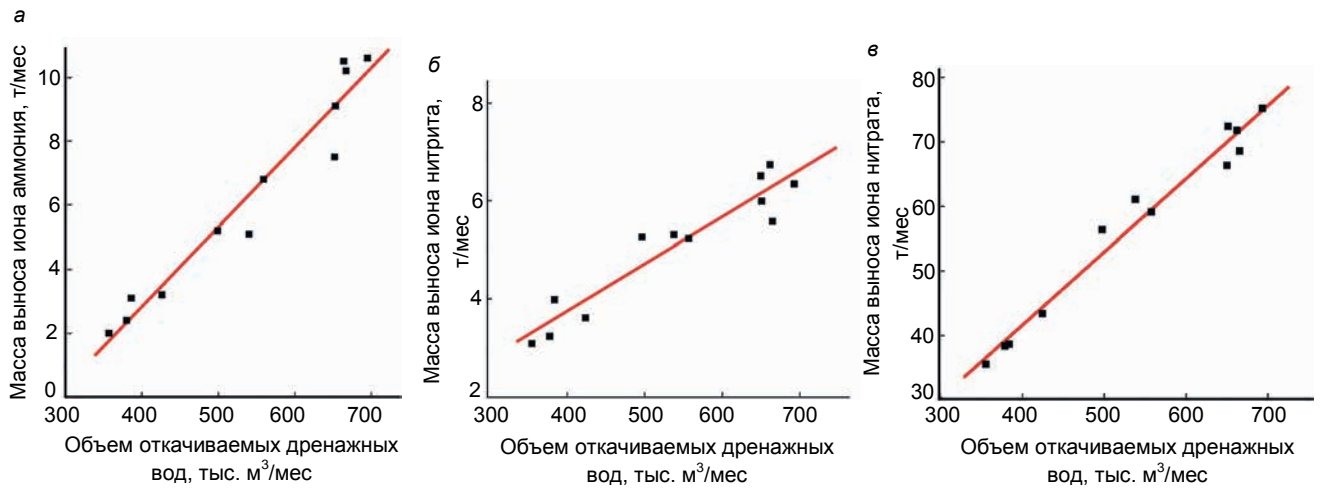


Рисунок 4. Зависимость массы выноса соединений азота от объема откачиваемых дренажных вод. а – иона аммония NH_4^+ ; б – иона нитрита NO_2^- ; в – иона нитрата NO_3^- .

зависимостью в пределах наблюдаемых значений массы выноса отдельных соединений азота и объема водоотлива дренажных вод, т/мес:

$$M_n = A_n + K_n V,$$

где M_n – масса выноса соединений азота за рассматриваемый период времени, т; V – объем дренажных вод, тыс. м³/мес; A_n , K_n – коэффициенты, характеризующие физико-химические и гидродинамические условия выщелачивания соединений азота из горной массы:

- для ионов аммония $A_n = -7,14$; $K_n = 0,025$;
- для ионов нитрита $A_n = -0,12$; $K_n = 0,0096$;
- для ионов нитрата $A_n = -3,9$; $K_n = 0,11$.

Полученные численные значения коэффициентов в уравнениях линейной регрессии, характеризующих связь массы выноса соединений азота (ионы аммония, нитрита и нитрата) с объемом водоотлива дренажных вод в наблюдаемых пределах изменений значений, зависят от внешних и внутренних факторов.

К определяющим факторам относятся внешние факторы, зависящие от горнотехнических условий горного предприятия (расход и виды ВВ, водопритоки в горные выработки, обводненность взрываваемых скважин).

Предварительное сравнение динамики количества использованных ВВ с динамикой массы выноса соединений азота не выявило тесной взаимосвязи между ними во времени ни в среднемесечном, ни в среднегодовом разрезе. По мнению авторов, это связано с тем, что в рассматриваемый длительный промежуток времени вынос соединений азота с дренажными водами сформирован с участием ВВ, использованных как значительно ранее, так и тех, что применены в рассматриваемый период (имеет место сформировавшееся загрязнение системы). Таким образом, решающим фактором, определяющим вынос соединений азота, является объем водоотлива, значительным образом связанный с атмосферными осадками.

Внутренние факторы, определяющие вынос соединений азота, связаны с гидродинамическими и физико-химическими условиями выщелачивания соединений азота из горной массы.

Вследствие этого при применении полученного уравнения для условий конкретного горного предприятия необходимо выполнение обработки результатов мониторинговых наблюдений за объемом и составом дренажных вод для определения числовых значений коэффициентов в уравнении регрессии.

Выполненные исследования положены в основу проектных решений при выборе способов очистки и технологических параметров системы очистки дренажных вод от соединений азота в условиях рассматриваемого предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кирюхин В. А. Прикладная гидрогеохимия. СПб.: СПбГИ, 2010. 201 с.
2. Лозовик П. А., Бородулина Г. С. Соединения азота в поверхностных и подземных водах Карелии // Водные ресурсы. 2009. Т. 36, № 6. С. 694–704.
3. Рево А. В., Хохряков А. В., Медведева И. В. и др. Воздействие предприятий горно-металлургического комплекса на динамику загрязнения реки Чусовой // Изв. вузов. Горный журнал. 2015. № 2. С. 67–74.

Александр Владимирович Хохряков,
ief.ie@m.ursmu.ru

Андрей Геннадьевич Студенок,
Геннадий Андреевич Студенок,
genand@mail.ru

Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

4. Экологическая геология крупных горнодобывающих районов Северной Евразии (теория и практика) / под ред. И. И. Косиновой. Воронеж: ОАО «Воронежская областная типография», 2015. 576 с.
5. Студенок А. Г., Студенок Г. А., Рево А. В. Оценка методов очистки сточных вод от соединений азота для дренажных вод горных предприятий // Изв. УГГУ. 2013. № 2(30). С. 26–30.
6. Хохряков А. В., Студенок А. Г., Ольховский А. М. и др. Количественная оценка вклада взрывных работ в загрязнение дренажных вод карьеров соединениями азота // Изв. вузов. Горный журнал. 2005. № 6. С. 29–31.
7. Болкисева Е. В. Механизм образования ядовитых газов при проходке горно-строительных выработок взрывным способом // Технология и безопасность взрывных работ: материалы науч.-техн. конф. Екатеринбург, 2012. С. 262–275.
8. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: утв. приказом Росрыболовства от 18 января 2010 года № 20.

REFERENCES

1. Kiryukhin V. A., 2010, *Prikladnaya gidrogeokhimiya* [Applied hydrogeochemistry]. Saint Petersburg, 201 p.
2. Lozovik P. A., Borodulina G. S. 2009, *Soedineniya azota v poverhnostnykh i podzemnykh vodakh Karelii* [Nitrogen compounds in surface and underground waters of Karelia]. *Vodnye resursy* [Water resources]. Vol. 36. No. 6. pp. 694–704.
3. Revvo A. V., Khokhryakov A. V., Medvedeva I. V., Tseitlin E. M. 2015, *Vozdeistvie prepriyatnykh gorno-metallurgicheskogo kompleksa na dinamiku zagryazneniya reki Chusovoi* [Impact of mining and metals sector industry on the dynamics of Chusovaya river pollution]. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining journal]. No. 2. pp. 67–74.
4. Kosinova I. I. 2015, *Ekologicheskaya geologiya krupnykh gornodobyvayushikh rayonov Severnoi Evrazii (teoriya i praktika)* [Ecological geology of big mining districts of North Eurasia (theory and practice)]. Voronezh, 576 p.
5. Studenok A. G., Studenok G. A., Revvo A. V. 2013, *Otsenka metodov ochestki stochnykh vod ot soedineniy azota dlya drenazhnykh vod gornyykh predpriyatnykh* [Evaluation of sewage water treatment from nitrogen compounds for drainage waters of mining companies]. *Izvestiya Uralskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University]. No. 2 (30). pp. 26–30.
6. Khokhryakov A. V., Olkhovskiy A. M., Studenok A. G., Studenok G. A. 2005, *Kolichestvennaya otsenka vклада vzryvnykh rabot v zagryazneniye drenazhnykh vod kar'erov soedineniyami azota* [Quantitative evaluation of contribution of blasting operations into contamination of drainage waters of pits with nitrogen compounds]. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining journal]. No. 6. pp. 29–31.
7. Bolkiseva E. V. 2012, *Mekhanizm obrazovaniya yadovykh gazov pri prokhodke gorno-stroitelnykh vyrobotok vzryvnykh sposobom* [Mechanism of generation of toxic gases during boring of mountain construction productions with explosive methods]. *Technology and safety during explosive operations: materials of scientific technical conferences*. IMA Ural Branch RAS. pp. 262–275.
8. 2010, *Normativy kachestva vodi vodnykh ob'ektov rybohozyastvennogo znacheniya, v tom chisle normativy predel'no dopustimyykh kontsentratsiy vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob'ektov rybohozyastvennogo znacheniya, utverzhdennye prikazom Rosrybolovstva ot 18.01.2010 № 20* [Quality standards of aquatic areas waters of objects of commercial fishing importance, including standards of maximum allowable concentrations of hazardous substances in fishery waters, approved by the order of Russian Federal Fisheries Agency from 18th of January 2010, No. 20].

Aleksandr Vladimirovich Hohryakov,
ief.ie@m.ursmu.ru

Андрей Геннадьевич Студенок,
Геннадий Андреевич Студенок,
genand@mail.ru

Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

Die Erforschung von Prozessen der chemischen Verunreinigung des Dränagewassers durch Stickstoffverbindungen am Beispiel von dem Tagebau eines grossen Bergbauunternehmens

A. W. Chochrjakow, A. G. Studenok, G. A. Studenok

Ein wichtiger ökologischer Aspekt der Arbeit aller Bergbauunternehmen, die Bohr- und Sprengarbeiten am Haufwerks mit unter Anwendung der Industriesprengmittel (Poremit, Granemit, Igdanit) auf Basis vom Ammonsalpeter durchführen, ist die unvermeidliche Verunreinigung des Dränagewassers Stickstoffverbindungen (das Ammonium-Ion NH_4^+ , das Nitrit-Ion NO_2^- und das Nitrat-Ion NO_3^-). Das Dränagewasser, das bei der Entwässerung der Vorkommen ausgepumpt wird, wird in der Regel in die oberflächlichen abgeleitet, was zur Gewässerunreinigung führt. Die Erfüllung der verschärften Anforderungen der Umweltschutzgesetzgebung, in Bezug auf den Wasserobjektschutz vor der Verunreinigung durch Stickstoffverbindungen bei der Ableitung (Ablassung) des Dränagewassers, bedingt die Notwendigkeit der Auswahl und der Entwicklung von ökologisch-wirtschaftlich optimalen Technologien ihrer Reinigung. Dafür ist es für Bergbauunternehmen nötig, die Bildungsvorgänge ihrer chemischen Zusammensetzung in Bezug auf Schmutzstoffe (Verschmutzungsverbindungen) und Dränagewasservolumen, die der Reinigung unterliegen, zu erforschen. Im Artikel sind Bildungsvorgänge der chemischen Verunreinigung des Dränagewassers durch Stickstoffverbindungen untersucht, die am Beispiel eines grossen Tagebaus der Bauindustrie erforscht wurden. Das Hauptziel der Erforschung war die Untersuchung der potenziellen Technologien für Wasserreinigung des Dränagewassers. Die Forschungsergebnisse sind vom betrachteten Unternehmen dafür benutzt, die Stickstoff-fertigungstechnologie für Dränagewasser zu entwickeln und die Arbeit der Reinigungsanlagen in Abhängigkeit von Natur- und Betriebsfaktoren unter Berücksichtigung der konkreten Bedingungen des Unternehmens und seiner Infrastruktur (der Zusammenhang zwischen dem Austrag der Stickstoffverbindungen und jahreszeitlicher Schwankung des natürlichen Wasserflusses), Masse des Haufwerks, den angewendeten Arten der Sprengmittel zu optimieren.

Schlüsselwörter: Waesserverunreinigung; Bohrschiessarbeiten; Tagebauedraengewaesser; der Ammoniakstickstoff, das Nitrit-Ion, das Nitrat-Ion, Auspumpen der Draengewaesser.

Der Bohr- und Sprengvortrieb des Haufwerks unter Anwendung der Industriesprengmittel (Poremit, Granemit, Igdanit) auf Basis vom Ammonsalpeter (NH_4NO_3) bei der Förderung im bewässerten Tagebau führt zur Verunreinigung des Dränagewassers durch Stickstoffverbindungen (das Ammonium-Ion NH_4^+ , das Nitrit-Ion NO_2^- und das Nitrat-Ion NO_3^-). Das Dränagewasser, das bei der Entwässerung der Lagerstätte ausgepumpt wird, wird in der Regel in die oberflächlichen Wasserobjekte abgeleitet (abgelassen), was zu Wasserverunreinigung führt. Das Problem ist charakteristisch für fast alle Bergbauunternehmen [1–4]. Im Swerdlowski Gebiet (Region) sind das die "Katschkanarer Bergbau- und Aufbereitungskombinat AG", die "Uralasbest AG", die "Vysokogorskiy Bergbau- und Aufbereitungskombinat AG" und andere Bergbau- und Bauindustrieunternehmen mit Tagebauen und den Untertagebauen, die der Bohr- und Sprengvortrieb des Haufwerks anwenden.

Die Erfüllung der Anforderungen der Umweltschutzgesetze in Bezug auf den Wasserschutz vor der Verunreinigung durch Stickstoffverbindungen bei der Ableitung des Dränagewassers bedingt die Notwendigkeit der Auswahl und Entwicklung von ökologisch-wirtschaftlich optimalen Technologien der Abwasserreinigung [5]. Dafür ist es nötig, die Bildungsvorgänge ihrer chemischen Zusammensetzung in Bezug auf Schmutzstoffe und Dränagewassermengen, die der Reinigung unterliegen, zu erforschen.

Dem Ergebnis der vorher ausgeführten Forschungen zufolge am Beispiel (in Bedingungen) eines Grosstagesbaus wurde festgestellt, dass die Stickstoffverbindungenmenge, die sich in das Dränagewasser bei den Sprengarbeiten (Schiessarbeiten) lösen, von 3 bis 4 % vom Stickstoffgehalt, die angewendeten Sprengmittel enthalten, beträgt [6]. Das Einströmen von Stickstoffverbindungen ins Dränagewasser bei den Bohr- und Sprengarbeiten führt zur wesentlichen Überschreitung ihres zulässigen Gehaltes in Oberflächen- und Grundwässern bei der Ableitung des Dränagewassers, was diese Gewässer verschmutzt.

Das Einströmen der Ammonium-Ionen ist mit der Lösung und der Ausschwemmung des Ammoniumnitrates beim Laden der bewässerten Bohrlöcher verbunden. Die Dränagewasserreinigung durch Nitrit-Ionen entsteht wegen der Sorption der während der Sprengungen entstehenden Stickstoffoxide vom Haufwerk, ihrer folgenden Ausschwemmung durch Niederschläge und des Einströmens der entstehenden Nitrit-Ionen in die Dränagewasser [7]. Das Einströmen der Nitrat-Ionen in die Dränagewasser entsteht sowohl durch Prozesse der Lösung des Ammoniumnitrates beim Laden der bewässerten Bohrlöcher, als auch wegen der Ausschwemmung durch Niederschläge der von dem Haufwerk sorbierten Stickstoffoxide (die Zeichnung 1).

Der Tagebau des betrachteten Bergunternehmens wird entwässert durch einen Dränageschacht und ein Netz von Entwässerungsbohrlöchern, die im Bereich der Bergbauarbeiten bis in die horizontale Strecken, die sich unter dem Tagebau befinden, gebohrt sind, mit dem folgenden Auspumpen des Wassers auf die Oberfläche. Die Strecken sind in bestimmten Plätzen durch Dämmschotte getrennt, die mit Abflussröhren mit Schiebern ausgerüstet sind, was erlaubt, einen Teil der Ausbaue in den Zeiträumen des intensiven Wasserzufflusses zu überfluten und damit die Wasserhaltung zu steuern und die Hochwasserzeiten abzugleichen. Das Auspumpen des Wassers auf die Oberfläche wird mit den Pumpen ZNS-300/540 ausgeführt, mengenmässig wird das ausgepumpte Wasservolumen durch die Arbeitsleistung und die Arbeitszeit der Pumpen bestimmt.

An der Zeichnung 2 ist die monatsdurchschnittliche Entwässerungsdynamik im Zeitraum 2006–2015 angeführt.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass das maximale monatsdurchschnittliche Dränage-wasservolumen (bis zu 70 % des Jahrvolumens des Dränagewassers) im wärmen Zeitraum des Jahres entsteht (April–Oktober), was mit natürlichen Faktoren verbunden ist (die Schneeschmelze und Niederschläge, die auf das Einzugsgebiet des Bergwerks fallen).

Das Dränagewasser hat einen hohen natürlichen und industriellen Verschmutzungsgrad. Es enthält chlorid-hydrogenkarbonate oder magnesium-chlorid-hydrokarbonate (Zusammenfassung), mit der Mineralisation 0,4–1,3 g/dm³, Gesamthärte bis zu 8,2–10,5 mol/dm³, pH bis zu 8,5–9,5.

Die Wasseranalyse auf Stickstoffverbindungen wird vom Laboratorium der Betriebskontrolle ausgeführt mit der Anwendung von folgenden zugelassenen Methoden (PND F):

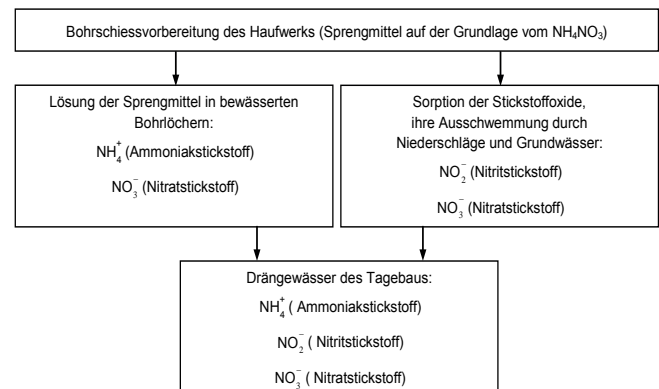
- Ammoniakstickstoff: die photometrische Methode mit Nessler-Reagens;
- Nitritstickstoff: die photometrische Methode mit Sulfanilsäure und α -Naphthylamin;
- Nitratstickstoff: die photometrische Methode mit Natriumazylat.

Die chemische Zusammensetzung des Dränagewassers in Bezug auf Stickstoffverbindungen, die stets vom Laboratorium der Betriebskontrolle des betrachteten Unternehmens ausgeführt wird (die Periodizität der Probenentnahmen ist zweimal pro Monat) ermöglicht die quantitative Zuordnung des Dränagewasserschadens durch Stickstoffverbindungen zu bestimmen.

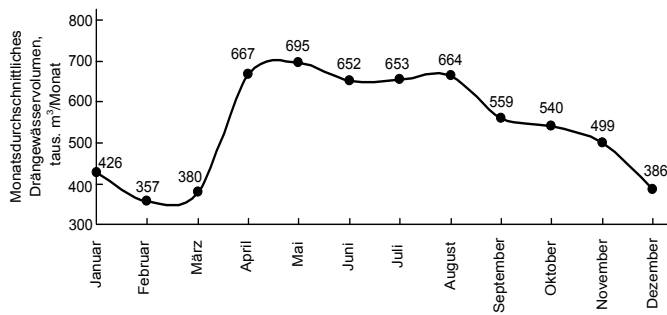
Die Analyse der Berichte des Unternehmens in Bezug auf qualitative und quantitative Zusammenfassung zeigt, dass der Überschuss der Konzentrationen der Stickstoffverbindungen die Grenzkonzentration für fischwirtschaftliche Wasserobjekte [8] beträgt:

- Ammoniakstickstoff – 15–30 mal;
- Nitrit-Ion – 50–150 mal;
- Nitrat-Ion – 2,0–3,5 mal.

Die bei der Betriebskontrolle bestimmten Konzentrationen von Stickstoffverbindungen im Dränagewasser sind durch die Ausschwemmung aus dem Haufwerk bedingt und ermöglichen es ihre Menge als das Produkt der monatsdurchschnittlichen Konzentrationen und des monatsdurchschnittlichen Volumens zu bewerten.



Zeichnung 1. Die Quellen des Einströmens der Stickstoffverbindungen in die Dränagewasser bei den Sprengarbeiten.



Zeichnung 2. Das monatsdurchschnittliche Drängewasservolumen des Unternehmens im Zeitraum 2006–2015.

In den Zeichnungen 3–5 sind die Angaben für die monatsdurchschnittlichen Ausschwemmungsmassen von den Stickstoffverbindungen im Drängewasser des Tagebaus im Zeitraum 2006–2015 angeführt.

Die Analyse der Ergebnisse der Untersuchung des Drängewassers in Bezug auf die Stickstoffverbindungen zeigt die Jahreszeitschwankung des Einströmes in die Umwelt (maximale Masse ist für die warmen Jahreszeiten charakteristisch).

Die Analyse der Ergebnisse zeigt folgendes:

- 21 % von der jahresdurchschnittlichen Ausschwemmung des Ammonium-Ions fällt auf den kalten Zeitraum (November–März) und 79 % fällt auf den warmen Zeitraum (April–Oktober);
- 31,5 % von der jahresdurchschnittlichen Ausschwemmung des Nitrit-Ions fällt auf den kalten Zeitraum (November–März) und 68,5 % fällt auf den warmen Zeitraum (April–Oktober);
- 31% von der jahresdurchschnittlichen Ausschwemmung des Nitrat-Ions fällt auf den kalten Zeitraum (November–März) und 69 % fällt auf den warmen Zeitraum (April–Oktober).

Die Erhöhung der Ausschwemmung von Stickstoffverbindungen ist mit der Erhöhung der Drängewasservolumenentstehung durch Niederschläge, die auf das Einzugsgebiet des Unternehmens fallen (Regenwässer und die Schneeschmelze).

In den Zeichnungen 6–8 sind die graphischen Abhängigkeiten der Ausschwemmungsmassen von Stickstoffverbindungen vom ausgepumpten Drängewasservolumen angeführt.

Die Analyse von angeführten graphischen Abhängigkeiten zeigt, dass die Ausschwemmungsmassen von Stickstoffverbindungen vom ausgepumpten Drängewasservolumen innig, praktisch linear abhängt und diese Abhängigkeiten werden durch folgende dem 1 nahe Werte der Koeffizienten von der Linearkorrelation charakterisiert: für das Ammonium-Ion – 0,97, für das Nitrit-Ion – 0,95, für das Nitrat-Ion – 0,99.

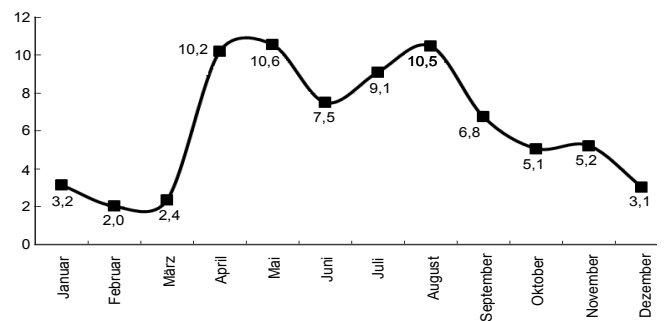
Die Menge von Stickstoffverbindungen, die in Form der Ammonium-, Nitrit- und Nitrat-Ionen aus dem Haufwerk in die Drängewasser kommt, kann mit der folgenden linearen empirischen Abhängigkeit charakterisiert werden (in den Grenzen der aktuellen Werten der Ausschwemmungsmassen von einzelnen Stickstoffverbindungen und des Drängewasservolumens), t/Monat:

$$M_n = A_n + K_n V,$$

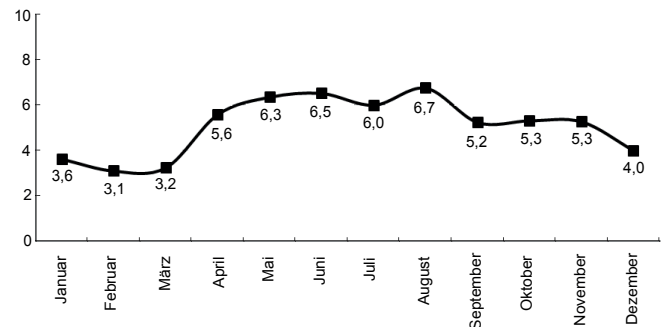
dabei M_n – die Ausschwemmungsmasse von Stickstoffverbindungen pro bestimmten Zeitraum, t; V – das Drängewasservolumen, Tausende Kubikmeter / Monat; A_n, K_n – Koeffiziente, die physikalisch-chemische und hydrodynamische Bedingungen der Ausschwemmung von Stickstoffverbindungen aus dem Haufwerk charakterisieren:

- für Ammonium-Ionen $A_n = -7,14; K_n = 0,025;$
- für Nitrit-Ionen $A_n = -0,12; K_n = 0,0096;$
- für Nitrat-Ionen $A_n = -3,9; K_n = 0,11.$

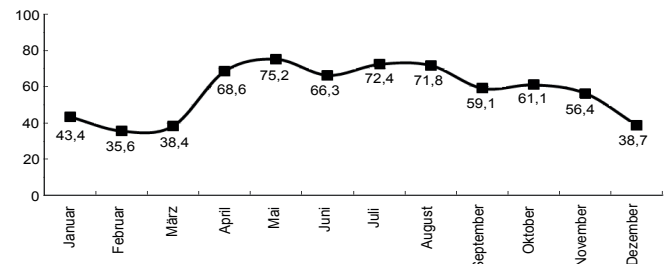
Die erhaltenen Koeffizientenwerte in den Gleichungen der linearen Regression, die den Zusammenhang zwischen der Ausschwemmungsmasse von



Zeichnung 3. Monatsdurchschnittliche Ausschwemmungsmassen vom Ammonium-Ion (NH₄⁺) im Drängewasser des Tagebaus.



Zeichnung 4. Monatsdurchschnittliche Ausschwemmungsmassen vom Nitrit-Ion (NO₂⁻) im Drängewasser des Tagebaus.



Zeichnung 5. Monatsdurchschnittliche Ausschwemmungsmassen vom Nitrat-Ion (NO₃⁻) im Drängewasser des Tagebaus.

Stickstoffverbindungen und des Drängewasservolumens (in den Grenzen der aktuellen Werten) hängen von äusseren und inneren Faktoren ab.

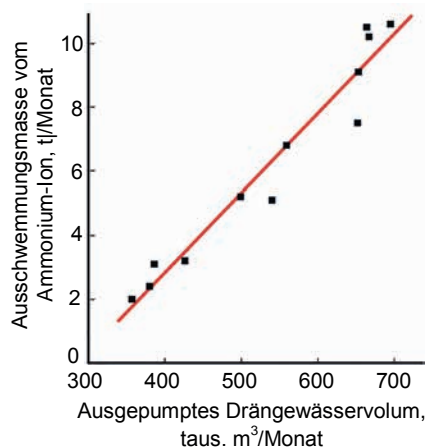
Zu den bestimmenden Faktoren gehören äussere Faktoren, die von den bergtechnischen Bedingungen des Bergunternehmens abhängen (Sprengmittelverbrauch, Sprengmittelarten, Wasserzufluss in den Grubenbau, Wässerung der zu sprengenden Bohrlöcher).

Der vorausgehende Vergleich der Verbrauchsdynamik von angewendeten Sprengmitteln zur Ausschwemmungsdynamik von der Stickstoffverbindungenmasse hat keinen engen Zusammenhang zwischen ihnen, weder im monatsdurchschnittlichen noch im jahresdurchschnittlichen Verhältnis festgestellt.

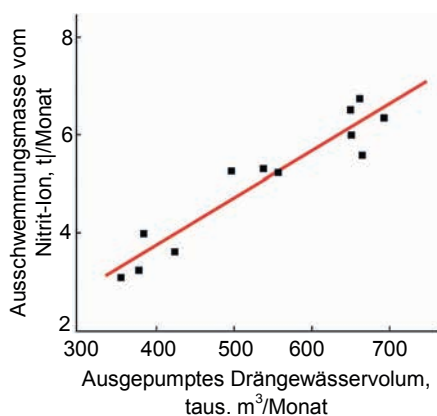
Aus Sicht der Autoren, ist es damit verbunden, dass im betrachteten langfristigen Zeitraum die Ausschwemmung von Stickstoffverbindungen im Drängewasser mit der Beteiligung von Sprengmitteln verbunden ist, die sowohl wesentlich früher als auch im betrachteten Zeitraum angewendet wurden (das heisst, wir betrachten eine längst entstandene Drängewasserver-

Die Analyse der Ergebnisse von der Kontrolle der Zusammensetzung des Drängewasser in Bezug auf die Stickstoffverbindungen.

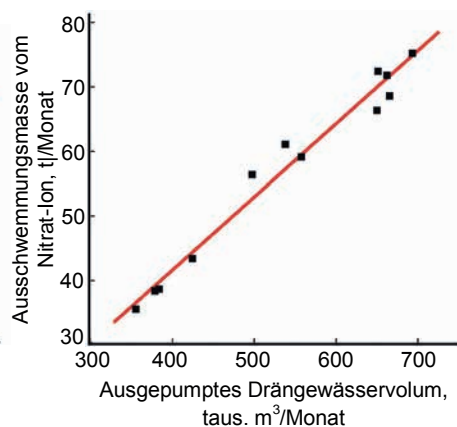
Jahreszeit	Drängewasservolumen (taus. m ³ / Zeitraum)	Ausschwemmungsmassen von Stickstoffverbindungen Tonnen/Jahreszeit			Anteil von jährlicher Ausschwemmung, %		
		Ammonium-Ion	Nitrit-Ion	Nitrat-Ion	Ammonium-Ion	Nitrit-Ion	Nitrat-Ion
Kalter Zeitraum (November–März)	2048	15,9	19,2	212,5	21,0	31,5	31,0
Warmer Zeitraum (April–Oktober)	4430	59,8	41,6	474,5	79,0	68,5	69,0
Insgesamt	6478	75,7	60,8	687,0	100,0	100,0	100,0



Zeichnung 6. Die Abhängigkeit der Ausschwemmungsmasse des Ammonium-Ions von dem Drängewässervolumen.



Zeichnung 7. Die Abhängigkeit der Ausschwemmungsmasse des Nitrit-Ions von dem Drängewässervolumen



Zeichnung 8. Die Abhängigkeit der Ausschwemmungsmasse des Nitrat-Ions von dem Drängewässervolumen

unreinigung). Der entscheidende Faktor, der die Ausschwemmung von Stickstoffverbindungen bestimmt, ist also die Abspumpung des Drängewässers (das Volumen der Wasserabführung), die wesentlich mit den Niederschlägen verbunden ist.

Die inneren Faktoren, die die Ausschwemmung von Stickstoffverbindungen bestimmen, sind mit den hydrodynamischen und physikalisch-chemischen Bedingungen der Ausschwemmung von Stickstoffverbindungen aus dem Haufwerk verbunden.

Bei der Anwendung der erhaltenen Gleichung am Beispiel eines konkreten Bergbauunternehmens ist es infolgedessen notwendig, die Ergebnisse der Betriebskontrolle in Bezug auf das Drängewässervolumen und die Zusammensetzung des Drängewässers zu bearbeiten, um die Koeffizienten der Regressionsgleichung zu bestimmen.

Auf Basis von ausgeführten Forschungen wurden Projektentscheidungen über die Reinigungsverfahren und technologische Kennwerten des Reinigungssystems für Drängewasser von Stickstoffverbindungen in den Bedingungen des betrachteten Unternehmens getroffen.

QUELLENVERZEICHNIS

1. Kirjuchin W. A. Angewandte Hydrogeochemie. Die Sankt-Petersburgische Berghochschule, Sankt-Petersburg, 2010, 201 S.

2. Losowik P. A., Borodulina G. S. Stickstoffverbindungen in den Oberflächen- und Grundgewässern Kareliens. Wasserressourcen, 2009, Band 36, № 6, S. 694–704.
 3. Rewwo A. W., Chochrjakow A. W., Medwedewa I. W., Zeitlin E. M. Einfluss der Bergbau- und Hüttenunternehmen auf die Verschmutzungsdynamik des Tschus-sowaya-Flusses.
 4. Ökologische Geologie der grossen Bergbaugebieten Eurasiens – bearbeitet von I. I. Kosinova, Voronezh, 2015. 576 s.
 5. Studenok A. G., Studenok G. A., Rewwo A. W. Bewertung von Verfahren der Abwasserreinigung von Stickstoffverbindungen für Drängewässer der Bergunternehmen. Nachrichten von Uraler staatlichen Berguniversität. 2013, № 2(30), S. 26–30.
 6. Chochrjakow A. W., Olchowskij A. M., Studenok A. G., Studenok G.A. Quantifizierung des Schiessarbeitenbeitrages zum Schaden der Tagebauedrängewässer durch Stickstoffverbindungen. Nachrichten von Hochschulen. Bergzeitschrift. 2005, № 6, S. 29–31.
 7. Bolkisewa E. W. Bildungsverfahren von Giftgasen bei der Auffahrung der Bergbaubau mit der Anwendung von Schiessarbeiten. Technologie und Sicherheit der Schiessarbeiten. Die Informationsschriften der wissenschaftlich-technischen Konferenz "Entwicklung von Ressourceneinsparungstechnologien im Schiesswesen". Jekaterinburg, 2012, S. 262–275.
 8. "Qualitätsnormative für fischwirtschaftliche Wasserobjekte, einschliesslich Grenzwerte der Verbindungsstoffen in den fischwirtschaftlichen Wasserobjekten", die vom Befehl № 20 der russischen Fischwirtschaftbehörde am 18.01.2010 gebilligt sind.

Alexandr Wladimirowitsch Chochrjakow,
 ief.ie@m.ursmu.ru
 Andrej Gennadjewitsch Studenok,
 Gennadij Andrejewitsch Studenok,
 genand@mail.ru
 Die Uraler staatliche Bergbauuniversität
 Jekaterinburg, Russland