

UDC 622.83

doi <https://doi.org/10.31996/mru.2019.1.38-44>

Yakovlev, Doktor der technischen Wissenschaften, leitender Forscher am Institut für Telekommunikation und globalen Informationsraum der Nationalen Akademie der Wissenschaften der Ukraine, yakovlev@niss.gov.ua, ID 56963584600,

V. M. YERMAKOV, Doktor der technischen Wissenschaften, Direktor des Zentrums für die Wiederherstellung der Ökologie und der Ressourcen des Donbass, Staatliche Institution "Staatliche ökologische Akademie für postgraduale Ausbildung und Management" des Ministeriums für Ökologie und natürliche Ressourcen der Ukraine, evn54@ukr.net,

O.A. ULYTSKYI, Doktor der geologischen Wissenschaften, Direktor des Forschungsinstituts für Umweltsicherheit und -management der staatlichen Institution "Staatliche ökologische Akademie für postgraduale Ausbildung und Management" des Ministeriums für Ökologie der Ukraine, olegulytsky@ukr.net

Ye. YAKOVLEV, D. Sc. in Ingenieurwesen, leitender Forschungsmitarbeiter (Institut für Telekommunikation und globalen Informationsraum der Nationalen Akademie der Wissenschaften der Ukraine), yakovlev@niss.gov.ua, ID 56963584600,

V. YERMAKOV, D. Sc. in Ingenieurwesen, Direktor des wissenschaftlichen Zentrums (Staatliche Ökologische Akademie des Ministeriums für Ökologie und natürliche Ressourcen der Ukraine), evn54@ukr.net,

O. ULYTSKYI, D. Sc. in Geologie, Direktor des pädagogischen und wissenschaftlichen Instituts für Umweltsicherheit und -management (Staatliche Ökologische Akademie des Ministeriums für Ökologie und natürliche Ressourcen der Ukraine), olegulytsky@ukr.net

UMWELTFOLGEN DER FLUTUNG DER NUKLEAREN EXPLOSIONSKAMMER IN DER MINE YUNKOM (ZENTRALER DONBASS)

UMWELTFOLGEN DER EXPLOSIONSBEDINGTEN FLUTUNG DER KAMMER DER MINE "YUNCOM" (ZENTRALER DONBAS)

Der Artikel stellt ein Beispiel für eine rechnerische Analyse der ökologischen und hydrogeologischen Bedingungen der Flutung des Kohlebergwerks Yunkom (Region Zentral-Donbass, Oblast Donezk, 1979) mit einer unterirdischen nuklearen Explosionskammer und den damit verbundenen Risiken einer Kontamination der unterirdischen und oberirdischen Hydrosphäre vor.

Das moderne natürliche und anthropogene Geosystem (NAGS) des Donbass "anthropogener Komplex - ehemalige natürliche Umwelt" befindet sich in der Phase der so genannten "Bergbaufolgelandschaft", deren wichtigster gefährlicher Faktor die automatische Sanierung des Grundwasserspiegels im System "lokales Einzugsgebiet - Fluss" ist. Die Hauptgefahr dieses Prozesses liegt in der stochastischen Bildung von Grubenwasserflusswegen und dem Risiko der Verschmutzungsmigration in Süßwasserhorizonte der aktiven Wasseraustauschzone und Oberflächengewässer.

Derzeit hat das System der Grundwasserbewegung unter den Bedingungen der Flutung von Kohlebergwerken eine komplexe hydraulische und filtrierende Struktur und erfordert daher die Entwicklung neuer Berechnungsmodelle.

Schlüsselwörter: Überschwemmung, Folgen, nukleare Explosion, ökologische und geologische Sicherheit, Radionuklide, geologische Umwelt.

Die Autoren analysierten die ökologischen und hydrogeologischen Bedingungen der Yuncom-Kohlemine unter der Flutung der unterirdischen Atomsprengkammer und das mögliche Risiko einer Kontamination des Grund- und Oberflächenwassers.

Eine Analyse der kompatiblen Graphen der halblogarithmischen Abhängigkeiten $I_g S_0/St$ der zeitlichen Beobachtung des Pegelanstiegs in den Minen des NTGS nach dem analytischen Modell, das am Beispiel der Überflutung der Stakhanov-Gruppe von Minen entwickelt wurde, zeigt deren hydrodynamische Analogie und die Möglichkeit der Trennung von drei Hauptphasen des hydraulisch-filtrierenden Prozesses der Überflutung der Minen des Donbas:

1) der anfängliche beschleunigte Anstieg des Pegels hängt hauptsächlich mit einer Abnahme des Volumens des oberen Teils der Senke zusammen, die auf den geringeren Umfang der Bergbauarbeiten und die vorherrschende Bewegung des unterirdischen Flusses in seinem tiefen durchlässigen Teil zurückzuführen ist; Zeitverlängerung bis zu 3-4 Monaten;

2) Das Vorherrschen von schwach durchlässigem Sand-Ton-Gestein (bis zu 70-80 % der Gesamtkapazität) mit erhöhter Sorptionskapazität in der lithologischen Zusammensetzung der kohlehaltigen Gesteine erhöht die Abdichtungskapazität der Gesteinsmasse unter den Bedingungen einer weiteren Verformung und ihrer vollständigen Wassersättigung während der Flutung des Bergwerks.

3. Für das Gebiet "Klivazh" ist die Auswirkung dadurch gekennzeichnet, dass die Migration radioaktiver Sprengstoffprodukte (unter den derzeitigen Bedingungen einer unvollständigen Wassersättigung) aufgrund ihrer überwiegenden Konzentration in den schwer löslichen Formationen der Sprengkammer und des Einflusses der Sorption von kohlehaltigem, schwach durchlässigem Gestein eingeschränkt ist.

Die Hauptrisiken dieser Prozesse hängen mit den stochastischen Parametern der Bewegung des Grubenwassers und der Migration gefährlicher toxischer Schadstoffe in die Süßwasser-Aquifere (Zone des aktiven Wasseraustauschs) und Oberflächengewässer zusammen.

Das moderne System der Grundwasserbewegung während der Flutung regionaler Kohlebergwerke im zentralen Donbas hat eine komplexe hydraulische Filtrationsstruktur, weshalb diese Situation die Ausarbeitung neuer Berechnungsmodelle erfordert.

Stichworte: Überflutung, Folgen, Atomexplosionskammer, ökologische geologische Sicherheit, Radionuklide, geologische Medien.

Das anthropogene geologische System (AGS) "Bergwerk - geologische Umwelt" ist unter den Bedingungen der Bergwerksstilllegung durch die Manifestation eines bedeutenden Komplexes natürlicher und anthropogener geologischer Prozesse gekennzeichnet, von denen einige als Autorehabilitation angesehen werden können, d.h. solche, die sich auf der Grundlage des

überwiegenden Einflusses natürlicher regionaler Faktoren der geologischen Umwelt (GE) entwickeln.

Zu den wichtigsten, die sich am gefährlichsten auf die Veränderungen der ökologischen und geologischen Bedingungen der Bergbaugebiete (MCAs) im Donbas auswirken, gehören die folgenden [1, 2, 4-9]:

– regionaler Anstieg des Grundwasserspiegels innerhalb des Wassereinzugsgebiets - Flussnetzwerks;

© E. O. Yakovlev, V. M. Yermakov, O. A. Ulitsky, 2019, S. 38-44

– beschleunigte Migration von anthropogenen unterirdischen und oberirdischen Schadstoffen aufgrund des verstärkten Wasseraustauschs während der Flutung der Grubenbaue in der Belüftungszone (ungesättigte Filtration) und der kontinuierlichen Verwitterung des kohlehaltigen Gesteins;

– Vergrößerung des Überschwemmungsgebiets und Überflutung geochemisch kontaminierter Gebiete in der GMA.

Darüber hinaus sind wir der Meinung, dass zusätzliche Absenkungen des Gesteins mit seismischen Erschütterungen während der Wassersättigung und die Bildung neuer Wege für die Migration natürlicher und künstlich erzeugter explosiver und toxischer Gase (Methan, Radon, Schwefelwasserstoff usw.) weitgehend mit den Selbstsanierungsprozessen zusammenhängen, die mit der Schließung der Minen im Donbas einhergehen.

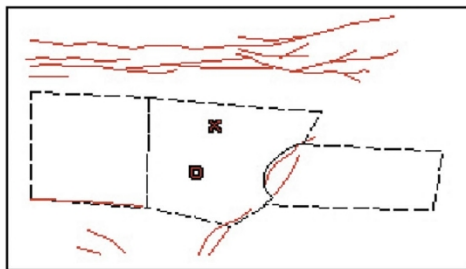
1979 wurde in der Mine Yunkom (Gebiet Donezk, Yunokomunarsk) in einer Tiefe von 903 Metern der weltweit erste

n der dicht besiedelten und intensiv betriebenen VDR wurde eine industrielle unterirdische Kernexplosion (INE) mit einer Kapazität von bis zu 300 Tonnen TNT-Äquivalent (0,3 kt) durchgeführt. Der Zweck der INE bestand darin, ihre Wirksamkeit bei der Verringerung der Häufigkeit von plötzlichen Freisetzungen von Kohle und explosivem Methangas bei der Verklappung von Kohleflözen zu bewerten.

Das Bergwerk Yunkom im Donbas (Zentraler Kohlebergbaubezirk) zeichnete sich durch ein hohes Maß an plötzlichen Kohleemissionen aus

Схема розміщення шахтних полів, суміжних із шахтою "Юнком"

Масштаб 1:3000



Гірнико-геологічний поздовжній розріз



Abb. 1. Struktur- und Hydrogeofiltrationsschema zur Flutung der nuklearen Explosionskammer der Mine Yunkom (Region Zentral-Donbas)

und explosive Gase im Zuge der Bergbauarbeiten. Im Zeitraum 1959-1979 traten in der Yunkom-Mine bis zu 235 Gas- und geodynamische Phänomene auf, darunter 28 Todesfälle von Arbeitern [1, 2].

Die Besonderheit der bergbaulichen und geologischen Bedingungen des Yunokom-Minenfeldes ist die intensive tektonische Verwerfung des Gesteins durch vier große Überschiebungen und ein dichtes Netz lokaler Verformungen von Kohleflözen und Wirtsgestein. Im Durchschnitt ist alle 240 m des Minenfeldes eine Verwerfung zu verzeichnen (Abb. 1).

Die derzeitige Intensivierung des Prozesses der Gruppenflutung von hydraulisch miteinander verbundenen Bergwerken in den kontrollierten und unkontrollierten Gebieten der zentralen Donbass-Region (CDR), einschließlich des Bergwerks Yunkom, birgt das Risiko territorial gefährlicher Veränderungen des bergbaulichen Zustands der in Betrieb befindlichen und stillgelegten Bergwerke sowie der ökologischen und geologischen Parameter für die Sicherheit des Lebens in den nahe gelegenen Städten und Dörfern.

In Anbetracht der obigen Ausführungen haben wir die wichtigsten Faktoren überprüft, die angesichts des Beginns der Flutung der Yunkom-Mine im April 2018 eine potenzielle radiohydro-geochemische Kontamination des Grund- und Oberflächenwassers in der CDD bedrohen könnten.

Für diese Bewertungen haben wir in erster Linie die Daten aus Beobachtungen des Grundwasserspiegels unter den Bedingungen der Schließung und Flutung einiger CDD-Minen sowie Materialien aus der Umweltüberwachung der Region Donezk verwendet; Forschungsergebnisse des Zentrums für ökologische und ressourcenbezogene Wiederherstellung des Donbass der Staatlichen Ökologischen Akademie des Ministeriums für Ökologie und natürliche Ressourcen der Ukraine, des UkrGRI, des Instituts für Telekommunikation und globalen Informationsraum der Nationalen Akademie der Wissenschaften der Ukraine, des Staatlichen Regionalen Geologischen Unternehmens Donbasgeologiya, Geoinform, etc.

Was den landschaftlichen, geomorphologischen und hydrogeophysikalischen Plan betrifft, so befindet sich das Bergwerk Yunkom - geologische Umgebung TGS in der Uferzone des rechten Ufers des Flusses Siverskyi Donets. Wenn also die meisten CDD-Kohlebergwerke im Profilgebiet Yunokomunarsk-Toretsk geflutet werden, wird das rechte Uferfragment des unterirdischen Flusses beschleunigt wieder in den Flusslauf integriert.

p. Siverskyi Donets als Hauptabfluss (Abb. 2).

Aufgrund der überwiegenden Nutzung des Abflusses des Flusses Siverskyi Donets als Hauptquelle für die Trink- und Wirtschaftswasserversorgung ist die

СХЕМАТИЧНИЙ РОЗРІЗ ПІВДЕННОГО КРИЛА ЦЕНТРАЛЬНОГО РАЙОНУ ДОНБАСУ (ГОЛОВНОЇ АНТИКЛІНАЛІ), СТАНОМ НА 1.11.2017 р.



Abb. 2. Schematischer struktureller und hydrogeologischer Schnitt durch den südlichen Flügel der Region Zentral-Donbas (Stand: 1.11.2017)

Wasserversorgung in der Donbass-Region (90 % bzw. 30 % in den Oblasten Donezk und Luhansk) ist es notwendig, das Netz der Beobachtungsstellen und die Zusammensetzung bestimmter Verunreinigungen (organochemisch, radionuklidisch, petrochemisch usw.) in ober- und unterirdischen Wasserstellen zu erweitern.

Die Analyse der gemeinsamen Graphen der halblogarithmischen Abhängigkeiten $\lg(S/S_0)$ der zeitlichen Beobachtung des Pegelanstiegs in den Minen des CDD (Tabelle) nach dem analytischen Modell, das am Beispiel der Überflutung der Stachanow-Minengruppe [5, 9] entwickelt wurde, zeigt deren natürliche hydrodynamische Analogie und die Möglichkeit, drei grundlegende Phasen des hydraulischen und filtrierenden Prozesses der Überflutung der Minen im Donbas zu unterscheiden:

1) Langsamer anfänglicher Anstieg des Pegels aufgrund einer Abnahme des Volumens im peripheren Teil des Depressionstrichters mit einem reduzierten Volumen der Grubenbaue und der vorherrschenden Bewegung des unterirdischen Flusses in seinem tiefen, wenig durchlässigen Teil; Dauer bis zu 3-4 Monate;

2) beschleunigter Anstieg des Grundwasserspiegels bei Aktivierung der Hydrogeofiltration in der Zone mit erhöhter natürlicher und anthropogener Durchlässigkeit (kombinierter Einfluss der regionalen Verwitterungszone und des anthropogenen Frackings, Dauer bis zu 3-6 Jahren);

3) Verringerung des Pegelanstiegs durch die Bildung eines regionalen Hydrogeofiltrationsstroms im Deckgebirge, sofern die Abflüsse in nahegelegene Bergwerke aktiviert werden können (Abb. 2, Bergwerk K. Marksa); im Allgemeinen kann diese Periode der Bildung des TSG "Flutung der Bergwerke - Hydrogeofiltrationsstrom" auf die Zeit nach dem Bergbau der Interaktion zwischen Grundwasser und Oberflächenwasser und auf langfristige Veränderungen zurückgeführt werden

Reformation der Umweltparameter der geologischen Umgebung (Abb. 3).

In Anbetracht der obigen Ausführungen sowie der langfristigen Lage der Kliwazh-Anlage in der Zone der Hydrogeofiltration und der geomechanischen Auswirkungen des Bergbaubetriebs in der Yunkom-Mine basierten die konzeptionellen Ansätze der Autoren auf konservativen Schätzungen der schützenden (Rückhalte-)Kapazität der geologischen Umgebung, die die Auswirkungen solcher Faktoren abdeckt:

1) langfristige Vermischung eines begrenzten Volumens von radionuklidbelastetem Wasser aus der Atomexplosionskammer mit einer erhöhten Menge an Filtrationsstromwasser in den Grubenbauen der Yunkom-Mine und den hydraulisch verbundenen Minen Poltavska und Krasnyi Zhovten (Abb. 1);

2) Verlangsamung der Bewegung der langlebigen Radionuklide Cäsium 137 und Strontium 90 in der Gesteinsmasse aufgrund der Sorptionswirkung des Porenraumes um die Sprengkammer und der technologisch gestörten Gesteinsmasse mit einer vergrößerten Fläche sorptionsaktiver Oberfläche innerhalb der natürlichen und technologischen Zonen von Minenfeldern (Abb. 1-3).

Die Notwendigkeit einer umfassenden Analyse des ökologischen und technologischen Problems der Flutung der Yunkom-Mine ergibt sich aus dem Mangel an Erfahrung mit der Flutung einer unterirdischen Atomexplosionskammer in einem dicht besiedelten Bergbau- und Ballungsgebiet in der Welt.

In diesem Zusammenhang haben wir separate hydrogeofiltratorische, radioökologische und geologische Bewertungen der möglichen Auswirkungen einer Überflutung und Zerstörung der nuklearen Explosionskammer (Kliwazh-Anlage) unter den Bedingungen der Autoremediation (unter dem Einfluss natürlicher und anthropogener Faktoren) des Grundwasseranstiegs durchgeführt

Tabelle. Schätzung der Geschwindigkeit des Pegelanstiegs bei der Flutung der Minen in der Region Zentral-Donbas (CDR)

Mein Name	Abs. Oberfläche	Der Beginn der Überschwemmung en.	Datum der Messung des Flutungsgrades der Grubenbaue								Das Ausmaß des Anstiegs der Werte für den Zeitraum 11.2017-01.06.2018 dH, m	Durchschnittliche Geschwindigkeit des Pegelanstiegs für den Zeitraum vom 11.2017-01.06.2018 dV, m/Tag
			01-30.11 2017	01-31.12 2017	01-31.01 2018	01-28.02 2018	01-31.03 2018	01-30.04 2018	01-31.05 2018	01-30.06 2018		
			GESCHWINDIGKEIT DES PEGELANSTIEGS BEI DER FLUTUNG VON MINEN MDGs, m/Tag									
M.O. Izotov	+269,1	- 131,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,30	13,0	0,05
K. Rumjanzew	+268,5	- 697,0	0,06	0,15	0,15	0,57	0,57	1,16	0,87	0,37	119,0	0,49
Nationale Medizinische Universität Kalinin	+282,7	- 620,0	1,00	0,85	0,85	2,15	0,73	0,26	1,33	1,43	261,0	1,07
Alexander-Zakhid	+302,5	- 146,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kindrativska	+279,8	- 389,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,90	0,90	0,20	58,0	0,23
Uglegorsk	+274,6	- 198,0	0,0	0,0	0,0	0,07	0,36	0,26	0,40	0,0	34,0	0,14
Nr. 3, 4 Alexandrowskaja	+225,5 + 232,9	- 189,0	0,0	0,0	0,0	0,30	0,20	0,07	0,23	0,03	26,0	0,10
Bulawinskaja	+245,6	- 180,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,20	0,23	0,03	18,0	0,07
Olchowatskaja	+258,0	- 52,0	0,20	0,20	0,40	0,53	0,30	0,70	0,23	0,33	87,0	
Nationale Universität Juri Gagarin	+192,0	- 57,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,88	0,11	0,0	0,0	31,0	0,12
Komsomolets	+208,0	-237,0	0,83	0,33	0,63	1,00	0,37	0,80	0,47	0,47	148,0	0,61
W.I. Lenin	+216,0	- 224,0	0,40	0,60	0,50	0,90	0,37	0,80	0,47	0,47	135,0	0,55
Stoker	+255,1	- 224,0	0,40	0,60	0,50	0,90	0,37	0,80	0,47	0,47	135,0	0,55
benannt nach Hayovyi	+264,5	- 589,0	0,20	0,17	1,13	1,59	0,80	0,40	0,26	1,59	183,0	0,75

Karl Marx	+225,9	- 521,0	0,23	0,0	0,16	1,33	0,0	1,00	1,03	0,53	126,0	0,52
Rote Profintern	+237,0	- 529,0	0,60	0,20	0,63	2,0	0,73	0,30	1,00	1,70	216,0	0,89
Roter Oktober	+ 195,0	- 283,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,66	0,63	0,0	35,0	0,14
Yunkom	+212,0	- 735,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,30	0,90	157,0	2,57
Poltawa	+ 284,0	+ 33,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,23	0,06	0,0	13,0	0,05
Jenakijewo	+283,5	+ 31,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,33	0,07	0,0	15,0	0,06
Nr. 2-bis (Quecksilber)	+ 240	- 211,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

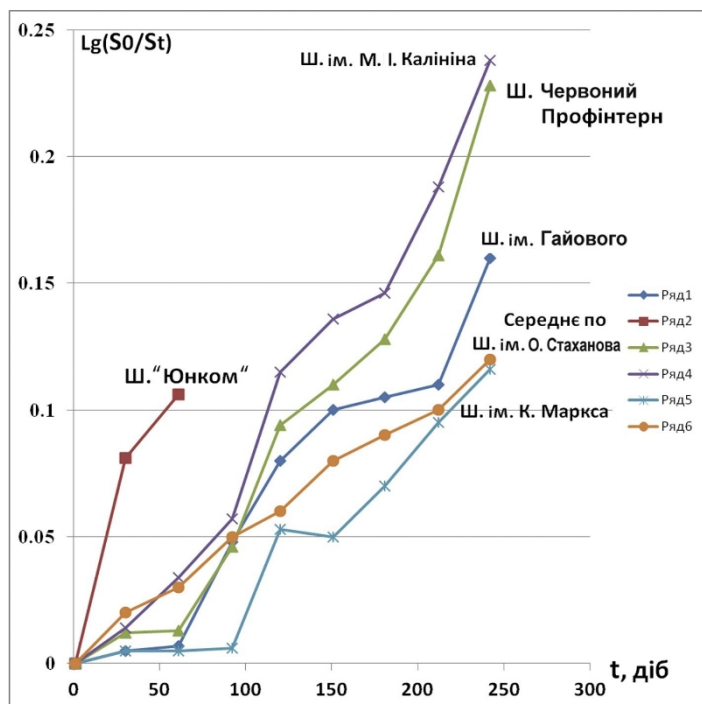


Abbildung 3. Zeitdiagramme, die den Anstieg des Grundwasserspiegels während der Überflutung von Yunkom, Gayoyvi, K. Marks und anderen Bergwerken (Region Zentral-Donbas) verfolgen

unter den Bedingungen der Hydrogeofiltration und der hydraulischen Interaktion mit nahe gelegenen Minen.

Die Schätzungen sind gemittelt, da die Entwicklung des Komplexes aus Hydrogeofiltration, Bergbau, mechanischen und ökologischen sowie geologischen Veränderungen in Kluwazh in hohem Maße von den Veränderungen der geodynamischen Bedingungen der benachbarten Bergwerke (Krasny Oktyabr, Poltavaska) sowie dem bergbaulichen und geotechnischen Zustand der Gesteinsmasse im südwestlichen Teil der Main-Antiklinale abhängt.

Strukturell und geologisch gesehen gehört das Minenfeld Yunkom zum südlichen Flügel der Hauptantiklinale, und zwar aufgrund von

dass die kohleführenden Lagerstätten aus dem Karbon aufgrund der weit verbreiteten tektonischen Verwerfungen eine komplexe Struktur aufweisen.

Im Allgemeinen ist die geologische Struktur des Yunkom-Minengebiets typisch für große Kohlebecken und zeichnet sich durch die Entwicklung einer dicken kohleführenden Gesteinsschicht (bis zu 8.000 m) aus, die aus Argilliten, Schluffsteinen, Sandsteinen, Kalksteinen und Kohleflözen (Arbeitsschichten von 0,5 bis 2,0 m Dicke) besteht.

Die Gesamtdicke der Kohleschichten im geologischen Abschnitt beträgt nicht mehr als 1% und die der Sandsteine 14-20%. Der geologische Abschnitt wird daher von Argillit-Pallelit-Schichten mit sandig-staubig-toniger Zusammensetzung, geringerer Durchlässigkeit und erhöhter Sorptionskapazität dominiert.

Das Gebiet des Grubenfeldes Yunkom gehört zu den Regionen mit offenen Kohlelagerstätten, da die Mächtigkeit der sporadisch verteilten gekrümmten Lagerstätten auf dem größten Teil des Gebietes 10 m nicht überschreitet. Gleichzeitig sind die hydrogeologischen Bedingungen des Grubenfeldes Yunkom während der Flutung der nuklearen Explosionskammer und der angrenzenden Bergwerke der zentralen MPD (Krasny Zhovten, Poltavaska, Vuhlehrska, etc.) durch folgende Faktoren gekennzeichnet:

1) zusätzliche, vom Menschen verursachte Offenlegung tektonischer Zonen in Oberflächennähe durch Aufbrechen und Verschieben von Gesteinen oberhalb von Bergwerksanlagen;

2) Entwicklung von Methoden zur beschleunigten seitlichen Migration von mineralisiertem Grundwasser aus tiefen Horizonten unter den Bedingungen der Flutung von Grubengebäuden und Zonen regionaler (Kohleflözmantel) und künstlicher Brüche;

3) das Vorhandensein einer großen Anzahl räumlich verteilter hydraulischer Störungen und enger Grubenbaue, was die Vorhersage der Bewegung des Grubenwassers im Falle verschiedener Grubenschutzpläne erschwert (Abb. 1, 2, 4).

Die technischen und geologischen Bedingungen des Arbeitsgebiets sind durch die vorherrschende Entwicklung stabiler Kohleformationen im geologischen Abschnitt gekennzeichnet, was die Entwicklung exogener geologischer Prozesse begrenzt. Darüber hinaus befindet sich das Abbaugelände der Mine Yunokom im zentralen Teil der Wasserscheide der Flussgebiete Dnipro und Siverskyi Donets. Dies bestimmt das

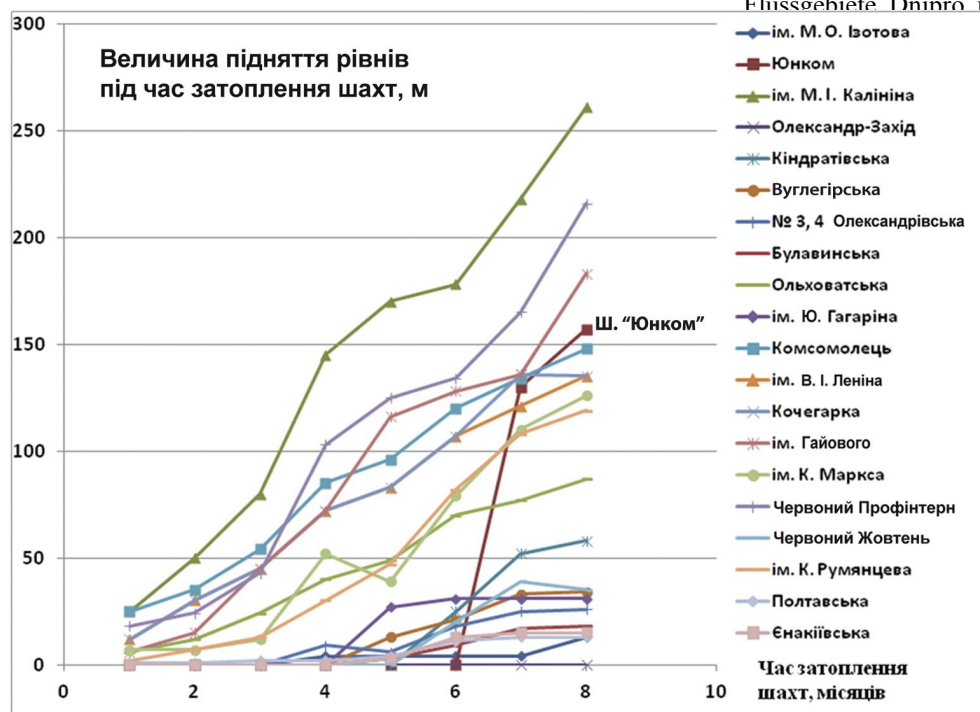


Abb. 4. Dynamik des Anstiegs des Grundwasserspiegels während der Flutung der Minen in der Region Zentral-Donbas (1.11.2017-1.07.2018)

den natürlichen Wasser- und Energieaustausch in der oberen Zone des geologischen Abschnitts und die Verlangsamung des Grundwasserflusses in die Flusstäler nach der Flutung der Grubenbaue.

Der komplexe Einfluss von strukturell-geologischen, hydrogeologischen, hydraulisch-geomechanischen Parametern auf die Struktur des Migrationsflusses von langlebigen Radionukliden in der Anlage Kliwazh (Cäsium-137, Strontium-90 mit einer Halbwertszeit von 28-30 Jahren) ermöglicht es, die folgenden Merkmale hervorzuheben:

1) das Vorhandensein einer stochastischen räumlichen und zeitlichen Verteilung von hydraulischen, Filtrationselementen und Sorptionsparametern in der Struktur des Grundwasserflusses, was die Verwendung verallgemeinerter (über einen konservativen Ansatz gemittelter) Filtrations- und Gleichgewichtsparameter in seinem mathematischen Modell erforderlich macht;

2) ³eine hohe Wahrscheinlichkeit der Verteilung zwischen den Bergwerken und der Verringerung der Radionuklidkontamination der Gewässer des Bergwerks Yunkom aufgrund einer großen Anzahl von hydraulischen Brüchen mit den Grubenbauen der benachbarten Bergwerke Poltavska und Chervonyi Zhovten mit einem Gesamtvolumen der Grubenbaue von mehr als 45 Millionen Metern.

Die Analyse der Dynamik des Pegelanstiegs in der Yunkom-Mine zeigt, dass im Zuge der Flutung und des Rückgangs des Grundwasserspiegels eine kurzfristige beschleunigte Aufwärtswanderung des mineralisierten Grubenwassers zu beobachten ist (Abb. 3, 4). 3, 4) mit einem allmählichen langfristigen seitlichen Transfer der Radionuklide Cäsium-137 und Strontium-90 aufgrund der hydrogeomechanischen Zerstörung der Sprengkammer, der langsamen Auflösung der radioaktiven Schmelze und der Flutung des Raums zwischen den Minen.

Eine teilweise Verlangsamung der Prozesse der Aufwärtswanderung und der geplanten Migration von Radionukliden, vorausgesetzt eine konservative Einschätzung der bergbaulichen und geologischen Bedingungen der an die Mine Yunkom angrenzenden Minen Chervonyi Zhovten und Poltavska, könnte zu einer teilweisen Verlangsamung beitragen:

– hydraulische Ausfälle (476 und 596 m Horizonte) sowie hydraulisch gefährliche Konvergenzen von Felswänden (262 m Horizont der Poltavska-Yunkom-Mine); gleichzeitig beträgt der anfängliche Überschuss der Pegel in den gefluteten Minen Krasny Oktyabr und Poltavska 3,3-6,2 MPa (Tabelle);

– Die Überflutung eines großen Teils der Grubenbaue mit einer Wassersättigung der Gesteinsmasse in den Bergwerken Chervonyi Zhovten und Poltavska führt zu einer kurzfristigen Beschleunigung des Pegelanstiegs im Bergwerk Yunkom mit anschließender Bildung eines Seitenstroms (Abb. 3, 4).

Eine zusätzliche Komplikation der ökologischen und hydrogeologischen Bedingungen in dem an die Yunkom-Mine angrenzenden Gebiet kann mit der Flutung der Grubenräume der Oleksandr-Zakhid-Mine und der mit hochgiftigen chemischen Verbindungen kontaminierten 2-bis-Mine der Mykytyvske-Quecksilbermine zusammenhängen (Abb. 2). Die aktuellen radioökologischen Bedingungen der Kliwazh-Explosionskammer (basierend auf den Daten der Vermessung des 936-m-Horizonts am 17.10.2001) in der Anfangsphase der Flutung des Grubenraums (Mai 2018) weisen die folgenden Merkmale auf:

1) Flutung der angrenzenden Grubenbaue in den Horizonten

936 und 823 m (33 m unterhalb bzw. 80 m oberhalb des Explosionszentrums), was die Entwicklung eines seitlichen Flusses auslöst);

2) zerstörerische Verformungen der Sprengkammer und ihre Füllung mit Wasser (gemäß den Daten der Sondenbohrung, mit der die Kammer im September 1991 geöffnet wurde);

3) geringer horizontaler Radius der Sprengkammer - bis zu 5,0 m (Durchmesser - bis zu 10,0 m), mit der Bildung von bis zu 100 Tonnen glasartiger geschmolzener Masse, in der sich bis zu 95% der radioaktiven Produkte der Explosion konzentrieren;

4) Bildung einer Zone aus zerkleinertem (vollständig zerstörtem) Gestein, innerhalb derer es sich in Sand- und Kiesfraktionen umformt, mit einem Radius von bis zu 8,0 m vom Zentrum der Explosion, d.h. einer widerstandsfähigen Dicke (8,0-5,0) von $\approx 3,0$ m;

5) Entwicklung einer Zone radialer Risse in einer Entfernung von bis zu 15 m vom Zentrum der Explosion oder in der angrenzenden Gesteinsmasse mit einer Dicke von (15-8,0) $\approx 7,0$ m.

Schätzungen zufolge lassen sich einige aktivierte (gebildete), aber geschlossene Risse in einer Entfernung von bis zu 20-25 m vom Explosionszentrum nachweisen. Gleichzeitig wurden nach den Daten der Sondierungsbohrungen keine radioaktiven Schmelzrückstände in der radialen Bruchzone gefunden, was auf die Entwicklung des Sorptionsprozesses der Radionuklide Cäsium-137 und Strontium-90 ab dem Beginn ihrer Wanderung außerhalb der Explosionskammer hinweisen könnte.

Schätzungen des Grades der Strahlenbelastung der Explosionskammer (Anlage Kliwazh) und das angrenzende Felsmassiv

Auf der Grundlage der Ergebnisse von Studien, die während unterirdischer Nuklearexplosionen durchgeführt wurden, wurde festgestellt, dass in der ersten Stunde nach der Explosion ($t = 1$ h) die Menge der radioaktiven Kontamination (R) von der Explosionskraft (TNT-Äquivalent in Kilotonnen) q

$$R_{t=1q} = 888 R = 4,5-10 q = 4,5-10 \cdot 0,3 = 1,35-10 \text{ Curie (Ci)}.$$

Im Allgemeinen ändert sich die Menge der radioaktiven Produkte R anschließend gemäß der folgenden Abhängigkeit

$$R_{t=1q}^{-1,2} R = R t.$$

Für den Zeitraum 1979-2018, d.h. zum Zeitpunkt der Überschwemmung (ca. 1.06.2018), kann die Restmenge der radioaktiven Produkte auf folgende Werte geschätzt werden

$$R_{t(2001p)} = \frac{R_{t=1q}}{[(2018-1979) \cdot 365 \cdot 24]^{1,2}} = \frac{1,35 \cdot 10^8}{(342 \cdot 10^5)^{1,2}} = 31 \text{ Ki}.$$

⁶ Es gibt Schätzungen, dass die Menge der radioaktiven Produkte je nach Zusammensetzung des Kernsprengstoffs $R = 2-10$ Ci pro $q = 1$ kt betragen kann, d.h. in der Anfangsphase für die Bedingungen der Mine Yunkom könnte dies sein

$$R \approx 2-10 - 0,3 \cdot 0,6-10 \text{ Ki}.$$

In diesem Fall kann die Restmenge an radioaktiven Rückständen in der Explosionskammer im Jahr 2018 bis zu

$$R_{2018} = R / 3,42-10 = 0,6 - 10 / 3,42-10 \approx 0,2 \text{ Ci}.$$

⁵ Eine Kontrollberechnung der Restradioaktivität, die mit dem Vorhandensein von Cäsium-137 und Strontium-90 in der glasartigen Schmelze verbunden ist ($P = 10$ kg 100 Tonnen in einem Kammervolumen von $V = 500$ m³), führt zu folgendem Ergebnis (nach dem Allrussischen Institut für Konstruktion und Forschung der Industrietechnik des Ministeriums für Atomenergie der Russischen Föderation, 1992):

– die spezifische Aktivität der glasigen Schmelze in der Kliwazh-Explosionskammer im Verhältnis zu Strontium-90 ist

$$R_{90} \approx 6,2-10 \text{ Ci/kg (2,3-10 Bq/kg)};$$

– ¹³⁷ Die spezifische Aktivität für Cäsium-137 beträgt $R = 4,6 - 10 \text{ Ci/kg (1,7 - 10 Bq/kg)}$.

Die Gesamtmenge der radioaktiven Verseuchung mit Cäsium-137 und Strontium-90 wird gleich sein mit

$$R_{(90)+(137)} \approx (6,2 + 4,6) \cdot 10 \text{ Ci/kg} = 10,8 \text{ Ci}.$$

²⁰¹⁸ Die obigen Ergebnisse der Berechnungen auf der Grundlage verschiedener Optionen für die Restmenge der

Radionuklide Cäsium-137 und Strontium-90 im Bereich der Explosionskammer (mit begrenzter Bildung von Plutonium-239, Americium-241 usw.) deuten darauf hin, dass die Schätzung der überschüssigen Kontaminationsmenge $R = 31$ Ci eine erhebliche "Sicherheitsmarge" (konservatives Niveau) aufweist.

Die obigen Schätzungen der Radionuklidbilanz der langlebigen Radionuklide Cäsium-137 und Strontium-90 in der Sprengkammer lassen also folgende Schlussfolgerungen zu.

1. Nach den vorliegenden Daten ist der ökologische und geologische Zustand der Kliwazh-Anlage unter den derzeitigen bergbaulichen, geologischen und hydrogeologischen Bedingungen durch eine relative hydrogeologische Isolierung und die Wahrscheinlichkeit einer kurzfristigen Bildung eines aufwärts gerichteten Grundwasserstroms durch die Sprengkammerzone, zerkleinertes und radial gebrochenes Gestein in Richtung der Verwitterungszone mit erhöhter seitlicher Durchlässigkeit gekennzeichnet (Abb. 1-3).

2. Das Vorherrschen von gering durchlässigem sandig-tonigem Schieferungsgestein (bis zu 70-80% der Gesamtdicke) mit erhöhter Sorptionskapazität in der lithologischen Zusammensetzung der kohleführenden Gesteine erhöht die Abdichtungskapazität der Gesteinsmasse unter den Bedingungen einer weiteren Verformung und ihrer vollständigen Wassersättigung bei der Flutung der Mine.

3. Die Aufprallzone der Kliwazh-Anlage ist durch eine Beschränkung der Migration radioaktiver Explosionsprodukte (unter den derzeitigen Bedingungen einer unvollständigen Wassersättigung) gekennzeichnet, die auf ihre vorherrschende Konzentration in den schwer löslichen glasartigen Formationen der Sprengkammer und den Einfluss der Sorption von kohlenstoffhaltigen Gesteinen mit geringer Durchlässigkeit zurückzuführen ist.

Die hohe räumliche und zeitliche Variabilität der Parameter des regionalen Grundwasserspiegelanstiegs im Prozess der Bergwerksschließung (Abb. 2-4, Tabelle) bestimmt den stochastischen Charakter der Verteilung der Filtrations- und Gleichgewichtsparameter des Grundwasserflusses im gefluteten Gebiet der Kliwazh-Anlage der Yunkom-Mine. In diesem Zusammenhang haben wir im Folgenden die Hauptmerkmale der GWF für die Bedingungen des "Nasskonservierungsschemas der Kliwazh-Anlage unter dem angenommenen Schema der Autorehabilitationsflutung der Yunkom-Mine betrachtet.

² Unter Berücksichtigung der großen Tiefe der Explosion und des hohen geostatischen Drucks (≈ 200 kG/cm oder 20 MPa), der die Migration von strahlenbelastetem Wasser aus der Explosionskammer einschränken wird, reduziert ein konservativer Ansatz den Wert der Laborschätzungen der Sorptionskapazität von Gestein um 4 Größenordnungen [3], d.h. auf 0,1 mg-eq/100 kg ($S = 0,001$ mg-eq/1 kg).

Aus veröffentlichten Daten zahlreicher Studien [3, 6-9] ist bekannt, dass mehr als 95 % der radioaktiven Explosionsprodukte in Form einer Linse am Boden der Explosionskammer konzentriert sind, die 5-10 % ihres Volumens einnimmt.

Das geringe Risiko einer signifikanten Freisetzung radioaktiver Produkte der Explosion außerhalb der Sprengkammer wird durch das Fehlen von Schmelzprodukten und einen anormalen Anstieg des Strahlungshintergrunds im Bohrloch der Explorationsbohrung Nr. 1 belegt, die 5,0 m von ihren Grenzen entfernt Sandsteine freilegte (Stand 1991, 12 Jahre nach der Explosion).

Die Parameter der Löslichkeit radioaktiver Schadstoffe unter den Bedingungen der Wassersättigung der Sprengkammer (außer Salz) sind nicht sehr unterschiedlich. Daher gehen wir in der ersten Phase der Vorhersage von einem eher konservativen Schema für die Auflösung der radioaktiven Rückstände in der Sprengkammer aus - synchron mit ihrer vollständigen Flutung und dem allmählichen Anstieg des Grundwasserspiegels.

Um eine technische "Sicherheitsmarge" in den Berechnungen zu schaffen, gehen wir außerdem nicht von einer seitlichen Ausbreitung des Wassers aus, das durch die kreisförmige

$$0,22 \approx h = R / \pi r = 300 / 3,14 = 95,5 \text{ m}.$$

Eine realistischere Option könnte jedoch die Migration in einer halbkugelförmigen Fließstruktur sein, da es zu einer teilweisen Ausbreitung in Richtung der Bruchzonen kommen kann, die beim Aufbrechen benachbarter Schichten entstehen.

In diesem Fall ist die geschätzte Abhängigkeit des Migrationspfads R ungefähr wie folgt

$$0,33 \approx R = 2/3 \cdot \pi \cdot (R - r) \cdot S \cdot \delta \cdot 2(R - r) \cdot S \cdot \delta.$$

Projektionsfläche der Kammer gefiltert wird.

$$F_k = \pi r_0^2 = 3,14 \cdot 5^2 = 78,5 \text{ m}^2.$$

Entsprechend der minimalen Sorptionskapazität des Gesteins

$0,2 \text{ wS} = 1,0 \text{ mg-eq/1000 kg} = 0,001 \text{ mg-eq/kg}$ und das Vorhandensein einer Schicht "h" von Sorptionsgestein auf der Oberfläche der Sprengkammer $R = \pi r S h \delta$, wobei h die durchschnittliche Länge des Weges der kontinuierlichen Migration von Schadstoffen bis zur vollständigen Sorption durch Gesteine, die gelöste radiogene Spezies enthalten (ohne seitliche Ausbreitung), ist, δ das Schüttgewicht der Gesteine, $\delta \approx 2000$ kg/m³,

Die Berechnungen zeigen, dass $R \approx 6,1$ m. Das heißt, selbst bei einer deutlichen Verringerung der bekannten Mindestwerte der Ionenaustausch-(Sorptions-)Kapazität von Gesteinen wird ihre zusätzliche Kontamination unter den Bedingungen der vollständigen Auflösung von Strahlungsrückständen und der radialen Migration unbedeutend sein und etwa 1 m betragen (wird die Zone der Zerkleinerung und Rissbildung nicht überschreiten).

Dies deutet darauf hin, dass selbst bei Nutzung der Sorptionskapazität eines kleinen Gesteinsvolumens der Migrationspfad der Strahlenkontamination unter den Bedingungen eines kontinuierlichen Filtrationsflusses unbedeutend sein wird. Wenn wir berücksichtigen, dass in der Zone der geomechanischen Einwirkung der Explosion (außerhalb der Sprengkammer, in der sich eine kontinuierliche Gesteinsschmelze gebildet hat) die Wirtsgesteine intensiv fragmentiert sind, sollten wir eine Intensivierung des Sorptionsprozesses mit einer gleichzeitigen Abnahme der Rate der Radionuklidmigration im Grundwasserstrom erwarten.

Unserer Meinung nach ist die wichtigste Voraussetzung für die radioökologische Sicherheit der Kliwazh-Anlage im Rahmen der Nasskonservierung die Bildung eines sehr langsamen Auslaugungsregimes und die Migration der toxischen Strontium-90- und Cäsium-137-Radionuklide durch Hydrogeofiltration unter dem aktiven Verlangsamungseffekt der Tonfraktionen der Tonerde-Pallelit-Gesteine.

$\Sigma^{6,3,9,3}$ Im Allgemeinen lässt sich damit das folgende konservative Schema (mit einer großen "Sicherheitsmarge") der bedingten einstufigen Auflösung der verfügbaren Menge der Radionuklide Cäsium-137 und Strontium-90 ($R = 31$ Ci) im Gesamtwasservolumen während der Verfüllung des Grubengebäudes von Yunkom $V \approx 25-10$ m ($25-10$ dm) begründen, das wir auf der Grundlage der Erfahrungen mit der Trockenlegung der Minen im Donbas in den Jahren 1944-1951 ermittelt haben. mit einem durchschnittlichen Koeffizienten der Verringerung des Volumens der Grubenbaue aufgrund von Verformungen im Falle einer vollständigen Verfüllung $\alpha = 0,5$ [1, 2, 4-7].

d Mit den Werten der Verteilungskoeffizienten K im System "wo

dd^p Nach der "Radionuklidlösung - Mineralskelett von Gesteinen" für Cäsium-137 ($K = 200$) und Strontium-90 ($K = 20$) beträgt die geschätzte Menge der im Grubenwasser gelösten Radionuklide $R = 15,5/200 + 15,5/20 = 0,86$ Ci. mp Die vorhergesagte Gesamtkonzentration der Radionuklide Cäsium-137 und Strontium-90 im Grubenwasser C ist dann gleich

$mp^{p,109,33} C = R : V = [0,86-3,7-10] : (25-10 \text{ dm}) = 1,3 \text{ Bq/dm}^3 < 2+2=4 \text{ Bq/dm}^3$

$\Gamma_{\text{ПК}}^3$ (gemäß den staatlichen sanitären und epidemiologischen Normen und Vorschriften 2.2.4-176-2010 C Cäsium-137 und Strontium-90 ist 2 Bq/dm).

Die obigen Berechnungen, die von der maximalen Auflösungsrate der strahlenbelasteten Glasschmelze ausgehen, deuten also auf die Möglichkeit einer Migration der Radionuklide Strontium-90 und Cäsium-137 in sicheren Konzentrationen im Falle von Sorptionsprozessen im großen Maßstab hin.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der obigen Berechnungen können die folgenden Schlussfolgerungen hinsichtlich des Gefährungsgrads der Radionuklidkontamination des Grund- und Oberflächenwassers für die Bedingungen der autorisierten Flutung

("Nasskonservierung") der Mine Yunkom gezogen werden.

1. Im Falle einer überwiegenden Lokalisierung der Radionuklide Cäsium-137 und Strontium-90 in der verglasten, schwer löslichen Schmelze ist eine langsame Hydrogeomigration der radioaktiven

Σ

Σ

von kontaminierten Lösungen unter den Bedingungen einer aktiven Manifestation der Sorptionsfähigkeit von Gesteinen.

2. Die Hauptauswirkungen der "nassen" Konservierung der Yunkom-Mine auf den ökologischen Zustand der geologischen Umwelt können durch lokale zusätzliche Störungen des Gesteinsgleichgewichts und hydrogeomechanische Zerstörungen der Sprengkammer der Kliwazh-Anlage verursacht werden.

3. Unter den Bedingungen der "nassen" Erhaltung der hydraulisch angeschlossenen Bergwerke Yunkom, Chervonyi Zhovten, Poltavskia usw. (Abb. 1, 2) sind die Voraussetzungen für eine aktive Filtration und hydraulische Dispersion sowie eine Verringerung der Radionuklidkonzentration entlang des seitlichen Flusses in der Zone des radiogeochemisch ungesättigten (nicht kontaminierten) Gesteins gegeben.

4. Die Anwendung des Systems der Nasskonservierung im Bergwerk Yun-Kom sollte angesichts des langfristigen Charakters der Radionuklidauflösung und -migration, der aktiven, vom Menschen verursachten Störung des Kohleflözmantels und des Risikos der Bildung von Gebieten mit schneller hydraulischer Bewegung der Radionuklidkontamination, sollten vorbehaltlich einer umfassenden Bewertung des bergbaulichen, geologischen und geomechanischen Zustands der angrenzenden Gesteinsmassen, der Entwicklung eines hydrogeologischen Modells und der vorgezogenen Schaffung eines Systems zur integrierten radioökologischen Überwachung des Grund- und Oberflächenwassers der Modellzone der Radionuklidmigration durchgeführt werden.

Im Allgemeinen deuten die erhaltenen Schätzungen darauf hin, dass bei der langsamen Veränderung des hydrogeomechanischen Regimes der Sprengkammer der Anlage Kliwazh unter den Bedingungen der Mine Yun-Kom die Schutzfaktoren der geologischen Umgebung (Sorptionskapazität der Gesteine, langsame Hydrogeofiltration des Grundwassers, Vorhandensein der meisten Radionuklide in schwer löslichen verglasten Massen usw.) nahezu ausreichen, um eine kritische radiochemische Kontamination der Sperrzone von Tschernobyl zu verhindern.) sind nahezu ausreichend, um eine kritische radiochemische Kontamination des Grund- und Oberflächenwassers in der Sperrzone von Tschernobyl zu verhindern.

LITERATUR

1. *Gavrilenko Y.N., Ermakov V.N., Ulitsky O.A., et al.* Technogenic consequences of closing coal mines in Ukraine - Donetsk: "Nord-Press", 2004. 632 S.
2. *Rudko G.I., Bondar O.I., Yakovlev E.O., Yermakov V.M. et al.* Umweltsicherheit der Kohlelagerstätten der Ukraine - Kiew: Bukrek, 2016 - 608 S.
3. *Israel Y.A., Petrov V.N., Pressman A.Y. et al.* Radioactive contamination of natural environments during underground nuclear explosions and methods of its prediction: Gidrometeoizdat, 1970. - 67 S.
4. *Ulitsky O. A.* Analysis of filtration balance in the area of mine workings // Collection of scientific works of UkrNDIEP. - Kharkiv, 2004. - S. 259-265.
5. *Jakowlew E. O.* Theoretische Grundlagen der Schätzung der Flutungszeit von Bergwerken und Steinbrüchen // Mineralische Ressourcen der Ukraine - 2010 - Nr. 2 - S. 35-40.
6. *Beseda N.I., Slyadnev V.A.* Regionale anthropogene Veränderungen in der geologischen Umwelt des Donbas unter dem Einfluss des Bergbaus - Kyiv: Znannya Society of Ukraine, 1977 - 67 S.
7. *Liutii G.G., Riznyk T.O.* Assessment of the impact of coal enterprises on river runoff in the territory of Donbas // Collection of scientific works of UkrSGRI - 2006 - No. 1 - S. 96-101.
8. *Yakovlev Ye., Chumachenko S.* Ökologische Bedrohungen im Donbas, Ukraine: Kanada, HD Centre, 2017. - 60 S.
9. *Gosk E., Galetskiy L., Yakovlev Ye.* Yuncom Underground Nuclear

3. *Izrajel Ju. A., Petrov V. N., Pressman A. Ja. et al.* Radioactive Verseuchung der natürlichen Umwelt nach unterirdischer nuklearer Ausbeutung und Methoden zu ihrer Vorhersage - Leningrad: Gidrometeoizdat, 1970. - 67 S. (Auf Russisch).

4. *Ulickij O. A.* Analyse der Filtrationsbilanz im Bergbauggebiet // Zbirnyk naukovykh prats UkrNDIEP - Kharkiv, 2004 - S. 259-265.

5. *Yakovlev Ye. O.* Theoretische Grundlagen für die Bewertung des Zeitpunkts der Überflutung von Minen und Steinbrüchen // Mineralische Ressourcen der Ukraine - 2010 - Nr. 2 - S. 35-40.

6. *Beseda N. I., Slyadnev V. A.* Regionale technogene Veränderungen der geologischen Umwelt im Donbas unter dem Einfluss von Bergbauaktivitäten: Obshchestvo "Znanie" Ukrainy, 2002. - 67 S. (Auf Russisch).

7. *Lyutyi G. G., Riznyk T. O.* Abschätzung des Einflusses von Kohleunternehmen auf den Flussabfluss auf dem Gebiet des Donbas // Zbirnyk nau- kovykh prats UkrDHRI - 2006 - Nr. 1 - S. 96-101.

8. *Yakovlev Ye., Chumachenko S.* Ökologische Bedrohungen im Donbas, Ukraine: Kanada, HD Centre, 2017. - 60 S.

9. *Gosk E., Galetskiy L., Yakovlev Ye.* Yuncom Underground Nuclear Blast Chamber. Beschreibung und Risikobewertung bei der Minenreinigung. Geologischer Dienst von Dänemark und Grönland - Kiew, Kopenhagen, 2003 - 24 S.

Der Bericht wurde am 6. Februar 2019 veröffentlicht.



Die Redaktion akzeptiert originelle, bisher unveröffentlichte Artikel zu geologischen, geologisch-mineralogischen und technischen Themen.

Die Artikel sollten in gedruckter (zwei Exemplare) und elektronischer Form eingereicht werden, vorzugsweise in ukrainischer Sprache.

Der Umfang eines wissenschaftlichen Artikels beträgt bis zu 25 Seiten maschinengeschriebenen Textes in 2 Abständen (einschließlich Tabellen, Fotos, Abbildungen und deren Beschriftungen, bibliografisches Verzeichnis, Zusammenfassung), ein Übersichtsartikel - 6-7 Seiten, eine Informationsmitteilung - 3-4 Seiten.

Dem Manuskript müssen der Prüfungsbericht und die folgenden Informationen über den/die Autor(en) beigelegt werden: Name, Vorname und Vatersname (vollständig); akademischer Titel und akademischer Grad; Position oder Beruf; Arbeitsort (Name der Institution oder Organisation); Adresse des Arbeitsortes, Telefonnummer; Adresse des Wohnsitzes, Telefonnummer, E-Mail-Adresse, ORCID.

Jeder Artikel muss Folgendes enthalten: UDC-Index, Zusammenfassung (in der Originalsprache und in Englisch), alphabetisches Literaturverzeichnis (nach modernen Anforderungen erstellt), Abbildungen, Tabellen und deren Beschriftungen (separate Dateien). Computermodelle von Abbildungen werden akzeptiert im Falle von Die folgenden Bedingungen sind erfüllt.

Grafiken: Schwarz-Weiß-Bild - *.tif oder *.psd (Adobe PhotoShop); Vollfarbbild - *.jpg *.tif, *.eps, *.psd Format, 300 dpi Auflösung. CMYK-Farbmodus, Schwarz in einem Kanal.

Grafiken: *.ai, *.eps (Adobe Illustrator) oder *.cdr (CorelDraw) Dateien. Verwendete Schriftarten müssen separat bereitgestellt oder in Kurven konvertiert werden.

Blast Chamber. Beschreibung und Risikobewertung bei der Schließung der Mine. Geologischer Dienst von Dänemark und Grönland - Kiew, Kopenhagen, 2003 - 24 S.

REFERENZEN

1. *Gavrilenko Ju. N., Ermakov V. N., Ulickij O. A.* et al. Technogenic Folgen der Schließung von Kohlebergwerken in der Ukraine. - Donezk: Nord- Press, 2004. - 632 S. (Auf Russisch).
2. *Rudko G. I., Bondar O. I., Yakovlev Ye. O., Ermakov V. M.* et al. Ökologische Sicherheit der Kohlelagerstätten der Ukraine: Bukrek, 2016. - 608 S. (Auf Ukrainisch).