

УДК 556.343

ВОДОПРИТОКИ В ПОДЗЕМНЫЕ ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ ПОД ВЛИЯНИЕМ ВНЕШНИХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ ШАХТЫ АЛЕКСИЕВСКАЯ)

Пургина Дарья Валерьевна¹,
purgina_darya@mail.ru

Кузеванов Константин Иванович¹,
kki@tpu.ru

¹ Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

Актуальность темы исследования. Безопасность и эффективность освоения угольных месторождений часто зависят от естественных гидрогеологических условий и их изменения под влиянием разработки месторождений различными способами. Особенно значительные и внезапные осложнения могут возникнуть при высокой обводненности горных пород, изменении их фильтрационных свойств под влиянием горных работ и питания водоносных комплексов. Многочисленные и разнонаправленные условия обводнения угольных месторождений определяют необходимость выявления и анализа ведущих факторов формирования водоприитоков в подземные горные выработки.

Целью исследования является описание процесса формирования водоприитоков при отработке угольных пластов подземным (шахтным) способом на примере угольной шахты Алексиевская; изучение гидрогеологических условий угольных месторождений, выявление закономерностей формирования водоприитоков в подземные горные выработки.

Методика: комплексные методы, включающие анализ и актуализацию фондовой литературы по объекту исследования, обработка данных велась с применением современных компьютерных технологий. С целью выявления закономерностей, влияющих на формирование водоприитока, использовались геолого-статистические методы обработки данных. В качестве исходных данных по водоприитокам и фильтрационным свойствам горных пород использовались материалы, предоставленные УК «Заречная» ООО «Георесурс», а также данные по водоприитокам на шахтах «7 Ноября», «Алексиевская», «им. Рубана», карьер «Суворовский». Для анализа влияния метеорологических изменений на водоприитоки материалом послужили специализированные электронные базы данных как среднемесячных, так и срочных наблюдений за температурой воздуха и количеством атмосферных осадков. Информационный массив обработан по метеостанции с. Кедровка (Кемерово) за период с 1955 по 2015 гг. Он получен из Всероссийского Научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мировой Центр Данных (ВНИИГМИ-МЦД), литературных источников и фондовых материалов. Обработка метеорологических характеристик, для выявления их закономерностей, основана на использовании статистических методов обработки данных. Визуализация результатов выполнена с использованием программных комплексов Microsoft Word, Excel, AutoCad.

Результаты. Выявлены факторы, оказывающие наибольшее влияние на формирование водоприитока в горные выработки, проведен анализ изменения климатических характеристик статистическими методами о случайности и наличии тренда с помощью критерия Питмена и критерия инверсий соответственно. По результатам исследования построена концептуальная модель формирования водоприитоков в горные выработки.

Ключевые слова:

Подземные воды, добыча, инфильтрационное питание, водоприиток, статистическая обработка временных рядов (критерий Питмана), шахта, Кузбасский адартезианский бассейн, лава, штрек.

Введение

Месторождения каменного угля являются одним из важнейших природных ресурсов России. Мировые цены на это полезное ископаемое динамично меняются. Так, на конец 2016 г., из-за ограничений на добычу в Китае и недостаточного предложения на мировом рынке, металлургический уголь подорожал в четыре раза, энергетический – вдвое, рост цен на уголь привел к подъему угольной отрасли [1]. Вместе с тем разработка месторождений этого сырья из-за сложности горно-геологических условий связана с высокими рисками. Например, за два последних года (2015, 2016) количество смертельно травмированных людей при добыче угля в России выросло вдвое, при этом число аварий осталось неизменным. Основываясь на статистических данных, представленных Ростехнадзором и опубликованных в «Российской газете», в 2015 г. как минимум один шахтер погибал при до-

быче 18,6 млн т угля, а в 2016 г. показатель ухудшился – один погибший на 6,88 млн т (рис. 1) [2].

Сохраняются актуальными задачи по обеспечению безопасного и эффективного освоения угольных месторождений. В свою очередь, безопасность и эффективность освоения угольных месторождений напрямую зависит от принятых мер по предотвращению катастрофических последствий при изменении естественных геологических и гидрогеологических условий под влиянием разработки месторождений различными способами [3, 4].

Для Кузбасса сложность отработки угольных месторождений часто связана с высокой степенью обводненности шахтных и карьерных полей, преимущественно в верхних частях геологического разреза в границах распространения водоносных горизонтов гидродинамической зоны активного водообмена. В этих условиях потенциальные водоприитоки в горные выработки контролируются че-

Источник: Ростехнадзор, ЦДУ ТЭК

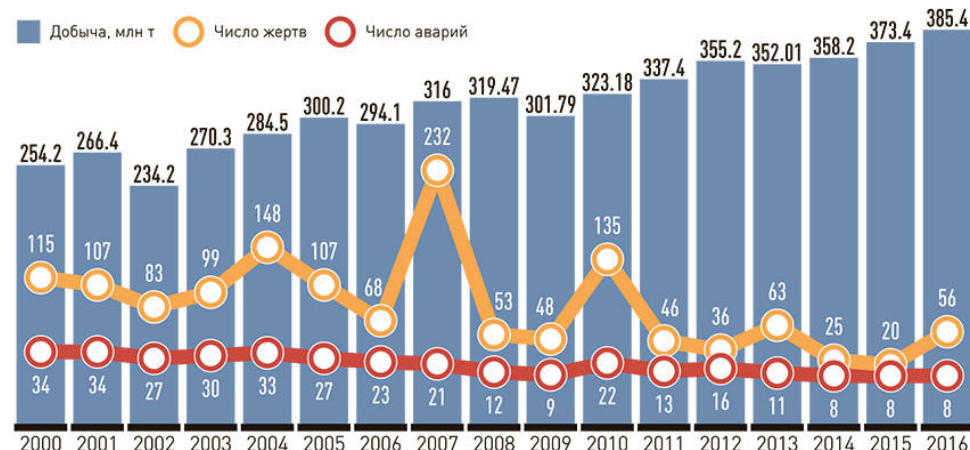


Рис. 1. Динамика объемов добычи угля, смертельного травматизма и аварийности на шахтах [2]

Fig. 1. Dynamics of coal production, fatal injuries and accidents in mines [2]

тырьмя основными факторами: геологическим строением, включающим геоморфологические особенности местности; проницаемостью горных пород, климатическими условиями территории и техногенным воздействием на окружающую среду в процессе добычи полезного ископаемого [5, 6]. В последние десятилетия, в связи с частой реструктуризацией угольных предприятий, при открытии новых и затоплении (закрытии, консервации) старых угледобывающих предприятий наиболее ярко проявляется четвертый фактор формирования водопритокков в подземные горные выработки – техногенный (антропогенный) [6]. Техногенный фактор формирования водопритокков напрямую зависит от степени воздействия человека на гидрогеологические условия. Затопление подземных горных выработок, перенос русел рек, водоотлив из шахт и разрезов: все это деформирует природный и формирует новый нарушенный режим подземных вод. Таким образом, на формирование водопритокков в горные выработки влияют не только природные факторы, но и сам процесс разработки месторождений. При суммарном воздействии естественных и искусственных факторов формируются внешние и внутренние граничные условия месторождений, под влиянием которых и формируется обводненность месторождений, изменяющаяся на различных этапах их отработки [8–10].

Объект, материалы и методы исследования

В качестве объекта для изучения формирования водопритокков в подземные горные выработки авторами выбрана шахта «Алексиевская» Егзово-Красноярского угольного месторождения. Административно исследуемая площадь входит в Ленинск-Кузнецкий район Кемеровской области. Она расположена в 12 км юго-восточнее города Ленинск-Кузнецкий и в 30 км северо-восточнее города Белово. Ближайшими к участку населенными пунктами являются сельские поселения Мохово и село Грамотеино (рис. 2).

Район имеет развитую горнодобывающую инфраструктуру: Шахта «Алексиевская» на северо-западе, востоке и юге имеет общую границу с тремя участками «Моховского» угольного разреза. Нижняя граница горного отвода является общей с шахтами «Байкаимская» и «Полысаевская», на севере изучаемый участок граничит с полем шахты «Рубана».

В геоморфологическом отношении участок расположен в границах водосборного бассейна реки Иня. Рельеф поверхности образован эрозийной деятельностью её правых притоков – рек Еловка, Мереть и речки Сычевка – с более мелкими притоками. Долина реки Мереть резко ассиметрична: правый склон пологий, левый склон крутой, участками обрывистый, изрезан большим количеством логов, характеризующихся небольшой протяженностью. Русло реки извилистое, шириной до 10 м, расход реки изменяется от 0,0062 до 0,29 м³/с и в существенной степени зависит от количества атмосферных осадков [11–13]. В период весеннего таяния снега расход увеличивается в несколько раз. Речка Еловка с начала работы «Моховского» разреза в её первозданном виде уже не существует. В двух километрах от устья она перекрыта дамбой, выше которой образован отстойник гидроотвала угольного разреза «Моховский», занимающий большую площадь. Ниже дамбы в речку сбрасывается вода, откачиваемая из забоев угольного разреза. Долина реки сильно заболочена (рис. 2).

Естественная поверхность рельефа до начала отработки угля представляла собой холмистую равнину, постепенно и плавно понижающуюся с юга на север в сторону реки и представляющую водораздельное пространство между реками Мереть и Еловка. В настоящее время рельеф нарушен ведением открытых горных работ на разрезе «Моховский», одна часть разреза засыпана отработанной породой, а другая рекультивирована. Отработанный

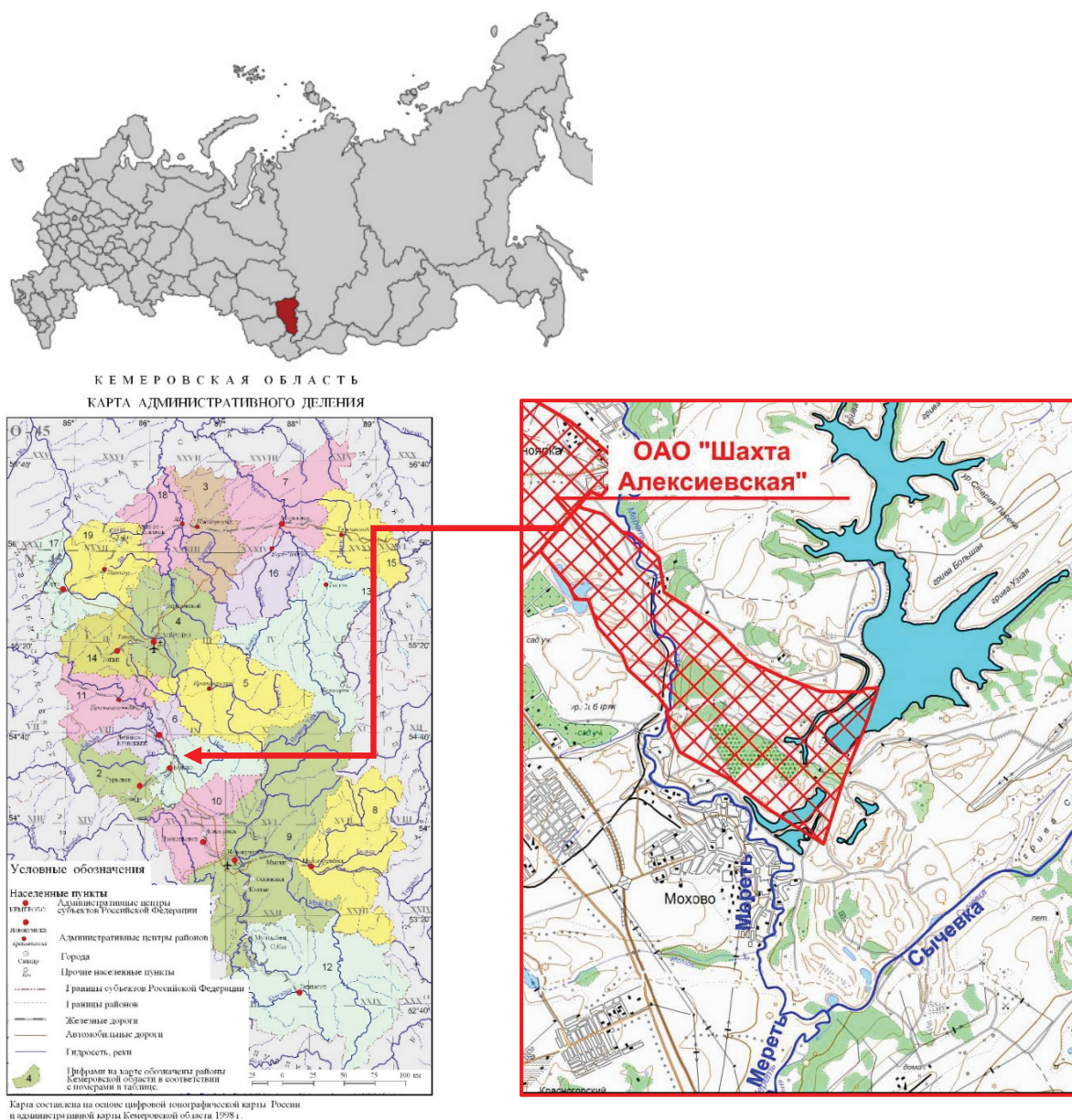


Рис. 2. Схема расположения объекта исследования

Fig. 2. Diagram of the research object location

ные площади разреза на поверхности представля-
ют рывтины, траншеи, канавы (рис. 3).

Абсолютные отметки ненарушенной поверхно-
сти рельефа изменяются от 200 до 308 м (абс.). За-
лесённость территории слабая. Климат резко кон-
тинентальный, район относится к зоне умеренного
увлажнения, среднегодовая сумма осадков при-
ближается к 500 мм, максимальное количество ос-
адков выпадает в летнее время (до 60 %) [15].

Геологическое строение

В геологическом строении Егозово-Краснояр-
ского месторождения Ленинского района прини-
мают участие осадочные отложения палеозойского
и четвертичного возраста. Кольчугинская серия, в
соответствии со стратиграфической схемой ФГУ

ВСЕГЕИ, утвержденной МПР ВФ Роснедра в
2009 г., включает осадочные образования верхне-
среднепермского возраста и подразделяется на две
продуктивные подсерии: ильинскую и ерунаков-
скую (рис. 4). Ерунаковская подсерия ($P_{2-3\text{ ер}}$) на ме-
сторождении распространена повсеместно. Отло-
жения ерунаковской подсерии представлены на
участке образованиями ленинской свиты.

Ленинская свита ($P_{2-3\text{ лн}}$) включает угольную тол-
щу от почвы пласта Красногорского до кровли пла-
ста Безымянного. Литологический состав этой тол-
щи представлен в основном переслаиванием мелко-
зернистых песчаников и разномзернистых алевроли-
тов, реже аргиллитов и пластов угля. В основной
кровле пласта Красногорского залегает мощный
слой песчаника мощностью 30–40 м. Пласты угля



Рис. 3. Нарушенная поверхность рельефа над шахтой «Алексиевская» [14]

Fig. 3. Broken relief surface above the Alexievskaya mine [14]

ленинской свиты на месторождении немногочисленные, их всего три: Красногорский, Наддальний и Безымянный. Пласт Безымянный имеет сложное строение, характеризуется как выдержанный по мощности и строению, Наддальний относится к угольным пластам нерабочей мощности, Красногорский же характеризуется весьма сложным строением.

Ильинская подсерия ($P_{2-3\text{ il}}$) на месторождении представлена отложениями казанково-маркинской и ускатской свит, в пределах участка отмечается ускатская свита. Ускатская свита ($P_{2\text{ us}}$) достаточно широко изучена на Ленинском, Уропском, Егозово-Красноярском и других месторождениях района. В разрезе Егозово-Красноярского месторождения она соответствует интервалу от почвы пласта Серебряниковского до почвы пласта Красногорского. Средняя мощность свиты в районе составляет 864 м. Литологический состав этой толщи представлен в основном алевролитами (46,3 %) и песчаниками (42,4 %), реже аргиллитами (4,6 %), рабочая угленосность составляет 6,1 %. В границах исследуемого участка угленосная толща представлена пластами Тонким, Несложным, Красноорловским. В кровле пласта Красноорловского прослеживается слой песчаника мелкозернистого, мощностью 20–30 м, сами пласты имеют простое строение и характеризуется выдержанным строением и мощностью. Отложения палеозоя перекрыты сплошным чехлом неоген-четвертичных отложений, исключая отдельные участки склонов и днища речных долин. Представлены чаще суглинками, глинами, реже аллювиальными глинистыми песками. Мощность покрова меняется от 1 до 10 м на левом кру-

том склоне реки Мереть, до 50–60 м в правобережной части долины реки Мереть. Пойменные отложения террас распространены в долинах рек. Русловая фация сложена разнозернистыми заиленными песками с включением окатанной гальки. Мощность песчано-галечникового горизонта изменяется от 1–2 до 5–6 м. Пойменная фация сложена супесями, суглинками и глинами. Аллювиально-делювиальные отложения распространены в долинах небольших речек. Породы представлены серыми, голубоватыми суглинками, супесями, глинистыми песками.

По тектоническому районированию Кузбасса Егозово-Красноярское месторождение находится в Присалаирской зоне линейной складчатости, отличающейся блоковым строением. Месторождение приурочено к Ленинской подзоне, где преобладают брахисинклинальные складки. Егозово-Красноярская синклиналь имеет широкое дно и пологие крылья с углами падения пород 5–10°. Ось складки простирается с северо-запада на юго-восток, слабо погружаясь к северу. Вблизи от оси Красноярской синклинали пласты угля разрываются крупно-амплитудным нарушением II-II, которое представляет собой продольный согласный взброс, простирающийся с северо-запада на юго-восток под азимутом 130–140° (рис. 4). Нарушение имеет амплитуду смещения 40–50 м и сопровождается, как правило, зоной интенсивного дробления пород мощностью от 10 до 40 м. Залегание пластов моноклинальное. В пределах шахтного поля горными работами зафиксированы мелко-амплитудные нарушения типа «взброс» с амплитудами 0,3–2,5 м.

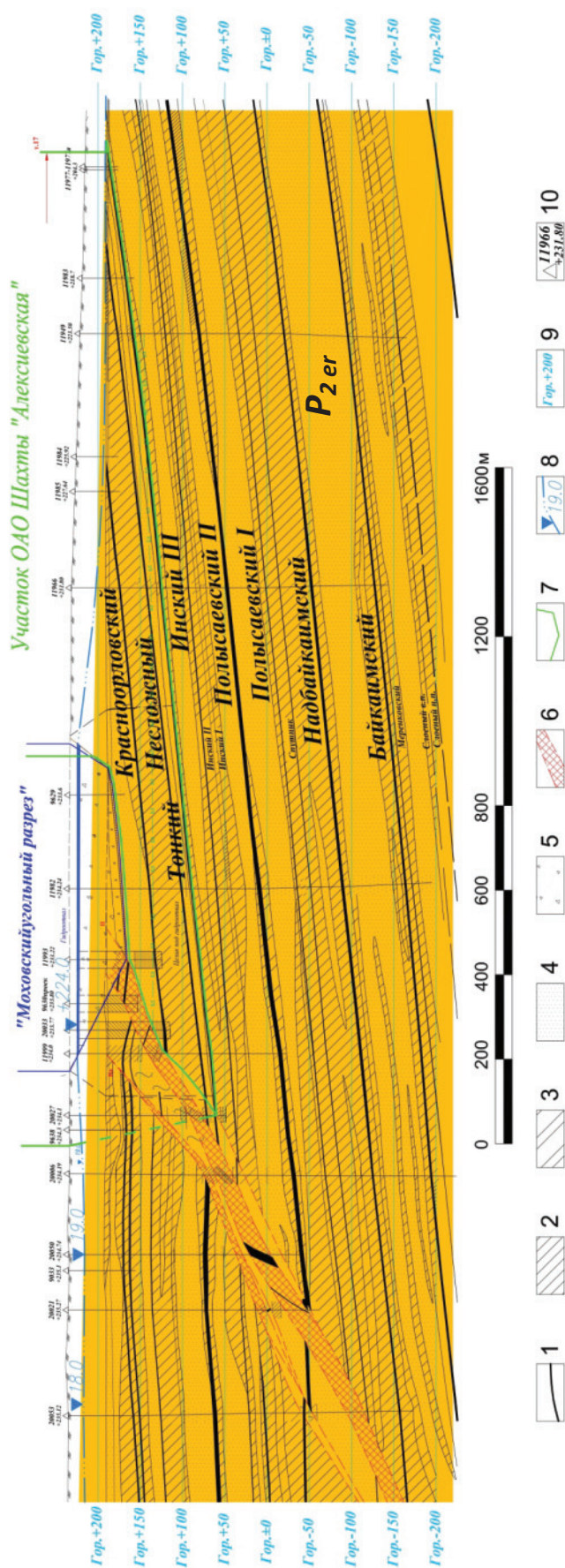


Рис. 4. Геологический разрез участка шахты «Алексиевская». 1 – угольный пласт; 2 – аргиллит; 3 – алевролит; 4 – песок; 5 – техногенный грунт; 6 – разрывное нарушение; 7 – границы по-
 ля шахты «Алексиевская»; 8 – уровень подземных вод; 9 – изолиния абс. отм.; 10 – скважина, ее номер

Fig. 4. Geological section of the mine Alexievskaya: 1 is the coal layer; 2 is the argillite; 3 is the siltstone; 4 is the sand; 5 is the man-made soil; 6 is the disjunctive dislocation; 7 is the boundaries of
 the mine Alexievskaya; 8 is the groundwater level; 9 is the isoline abs. mark; 10 is the well, its number

Гидрогеологические условия месторождения

Гидрогеологические условия в пределах участка «Благодатного» (рис. 5) изучались на всех стадиях разведки в комплексе с геологоразведочными работами на уголь начиная с 1930 г. В процессе бурения разведочных скважин велись элементарные гидрогеологические наблюдения, которые заключались в замерах уровней воды в период проходки и в наблюдениях за потерей промывочной жидкости.

До 1980 г. с целью количественного опробования водоносности пород на участке и прилегающей к нему площади пробурено 29 гидрогеологических скважин (рис. 5), в которых проведены опытные и пробные откачки (табл. 1). Скважинами охвачен весь стратиграфический разрез. Наиболее детально изучена верхняя гидродинамическая зона, и с меньшей детальностью исследована зона замед-

ленного водообмена. Большое внимание было уделено изучению предполагаемых границ области фильтрации, таких как долина реки Мереть и зоны крупных нарушений. С этой целью был пробурен гидрогеологический куст, состоящий из центральной и четырех наблюдательных скважин.

В 2006–2008 гг. на участке были проведены работы по организации мониторинга геологической среды по заявкам руководства «Моховского» разреза и администрации шахты «Алексиевская». С целью организации мониторинга было пробурено 10 наблюдательных скважин. На данный момент за счет продвижения очистного фронта горных работ шахты «Алексиевской» мониторинговые скважины осушены. В 2012–2014 гг. пробурены четыре водозаборные скважины, одна из которых показала низкую обводненность пород за счет большой срезки уровня подземных вод (табл. 1).

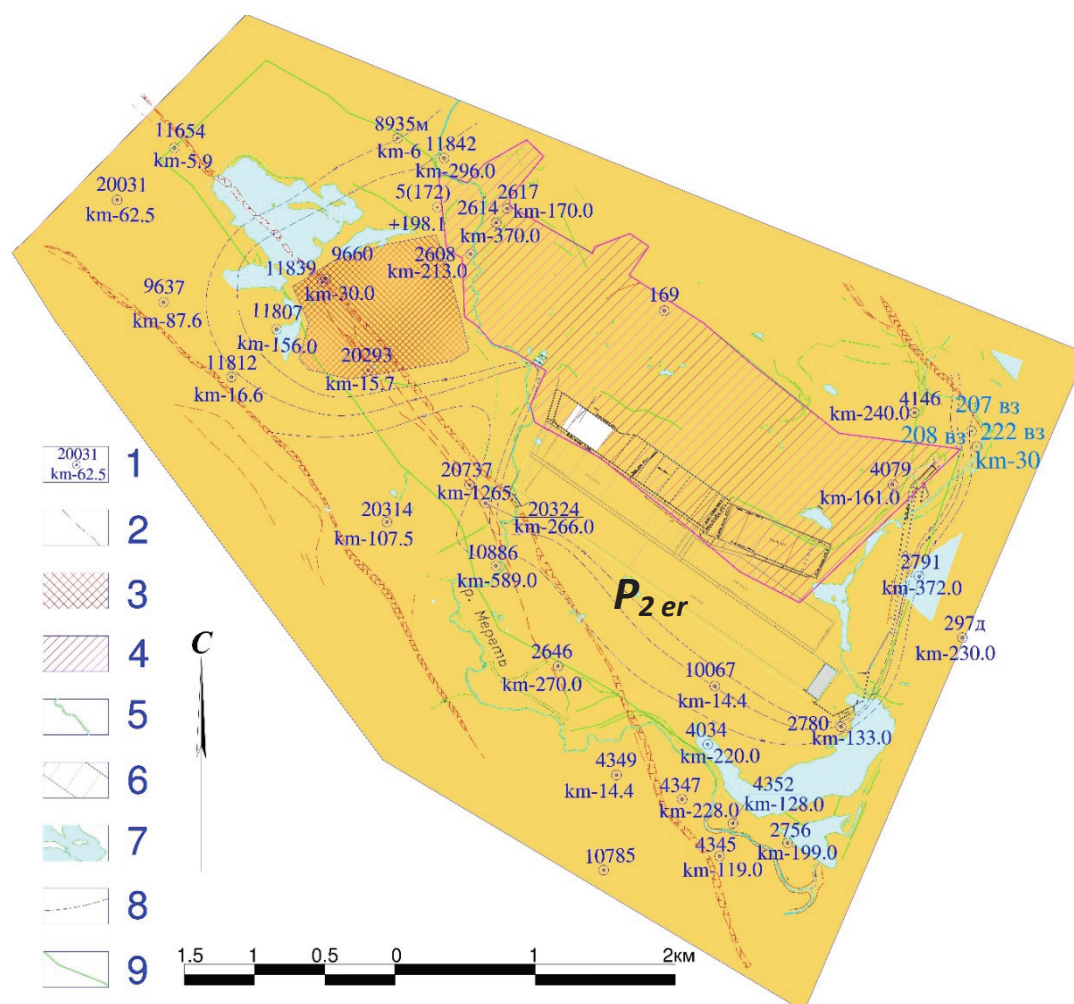


Рис. 5. Схема расположения гидрогеологических скважин: 1 – скважина, ее номер (сверху), коэффициент водопроводимости (снизу); 2 – разрывные нарушения; 3 – территория отработки угля разрезом «Моховский»; 4 – поле шахты «Алексиевская»; 5 – реки; 6 – лавы; 7 – поверхностные водные объекты; 8 – линии равных напоров

Fig. 5. Map of location of hydrogeological wells: 1 is the well, its number (above), water conductivity coefficient (below); 2 are the disjunctive dislocations; 3 is the coal mining site Mokhovskiy slit; 4 is the Alexeyevskaya mine shaft; 5 are the rivers; 6 is the lava; 7 are the surface water bodies; 8 are the equal pressure lines

Таблица 1. Результаты опытно-фильтрационных работ
Table 1. Results of aquifer test

№ скважины Well	Глубина скважины, м Depth, m	Статический уровень, глубина, м Static level, m	Понижение, м Drawdown, m	Дебит, л/с Discharge, l/s	Удельный дебит, л/с Specific discharge yield, l/s	Коэффициент водопроводимости, м ² /сут Transmissibility, m ² /day
11654	140	23,0	–	–	–	5,9
20031	155	28,1	–	–	–	62,5
9637	138	24,0	–	–	–	87,6
11842	160	12,0	–	–	2,52	296
9660	180	13,8	6,4	1,79	0,28	30
11839	210	14,5	–	–	1,13	–
11807	116	7,23	–	–	–	156
11812	120	40,0	–	–	–	16,6
2614	164	+2,37	–	–	3,09	370
2617	132	5,3	–	–	–	170
20314	154	15,6	–	–	–	107,5
2608	164	20,0	–	–	–	213
20293	172	42,0	–	–	1,09	15,7
20737	300	6,2	1,85	3,88	2,1	1265
20324	132	16,9	–	–	1,58	266
10886	105	4,7	–	–	–	589
20849*	119	45,1	–	–	0,16	14,4"
2646**	149	21,6	–	–	2,25	270"
4349	145	31,9	–	–	–	14,4
4146**	151	8,26	–	–	2,0	240"
10067*	1	33,5	9,0	1,6	0,18	14,4"
4079**	110	27,0	–	–	1,89	161"
4034	–	26	–	–	1,83	220
4347	–	24,2	–	–	–	228,0
4352	–	31,0	–	–	–	128,0
4345	–	29,7	–	–	–	119,0
2791	78	2,14	–	–	3,08	372
2780*	–	17,6	–	–	–	133"
2756	–	14,40	–	–	1,66	199
297д	100	27,74	15,38	2,0	0,13	230
207вз	120	30,0	–	12,8	–	180*
222 вз	117	28,5	9,75	2,8	0,29	30*
196 вз	150	75,0	33,0	0,23	0,007	–
8934	40,0	32,24	2,76	0,40	0,14	5**
8935	130	64,80	36,0	2	0,06	6**
8932	15,60	–	–	–	–	–

В гидрогеологическом отношении участок относится к центральной части адартезианского бассейна трещинно-пластовых вод Кузбасса. В пределах участка и прилегающей к нему площади, согласно материалам региональных съемочных гидрогеологических работ и геологоразведочных работ, распространен локально обводненный водоносный комплекс четвертичных отложений и водоносный комплекс верхнепермских угленосно-терригенных пород кольчугинской серии (рис. 6).

Водоносный комплекс четвертичных отложений представлен тремя горизонтами. Водоносный горизонт верхнечетвертичных элювиально-делювиальных отложений (ed Q_{III}), который представлен

отложениями краснодубровской свиты (Q_{I-II krd}), верхнечетвертичными-современными субаэральными отложениями еловской свиты (Q_{III-IV el}) и аллювиальными современными пойменными отложениями рек Мереть, Еловка и речки Сычевка. Локально обводненный водоносный горизонт субаэральных верхнечетвертичных-современных отложений (sa Q_{III-IV}) распространен повсеместно, а водовмещающими породами являются лессовидные суглинки на контакте с более плотными разностями или глинами. Водоносный горизонт верхнечетвертичных-современных аллювиальных образований представлен отложениями первой, второй и третьей надпойменными террасами р. Ини (an+3Q_{III-IV}). Водовмещающие толщи представлены гравийно-галечниковыми отложениями, песками с суглинисто-глинистым заполнителем, залегающими преимущественно в основании террас реки Ини.

В приповерхностной части геологического разреза встречаются горизонты верховодки. Образование верховодки обусловлено весенним таянием снегов, летними и осенними затяжными дождями. Линзы верховодки характеризуются низкой водообильностью и ограниченным распространением. Наличие верховодки является отрицательным фактором при строительстве и проходке подготовительных выработок. Даже при незначительном притоке воды насыщенные водой грунты склонны к оплыванию и резко снижают свои несущие свойства.

Вследствие незначительной обводненности четвертичных отложений каких-либо осложнений при проходке горных выработок, обуславливающих притоки в шахту, ожидать не следует (за исключением слабой устойчивости этих грунтов при замачивании, о чем было сказано выше). Поэтому под мелкими речками и логами оставление охраняемых целиков не предусматривается. Однако рыхлые отложения, имеющие довольно большую мощность (до 30–40 м), обладают значительными емкостными запасами подземных вод, влияние которых может определять постоянное питание нижележащих коренных образований за счет перетоков сверху при разработке продуктивных толщ на протяжении длительного времени.

Водоносный комплекс верхнепермских угленосно-терригенных пород отложений кольчугинской серии (P_{2-3 kl}). Водоносный комплекс развит на всей площади района. Водовмещающие породы представлены чередованием средне-мелкозернистых песчаников, алевролитов, реже аргиллитов, углистых аргиллитов, каменных углей. Толща характеризуется неравномерной обводненностью, которая зависит от литологического состава горных пород, геоморфологического положения и степени развития эндогенной и экзогенной трещиноватости. Наиболее обводнены отложения в верхней трещиноватой зоне, развитой до глубины 120 м, где выделяется от двух до пяти водоносных зон.

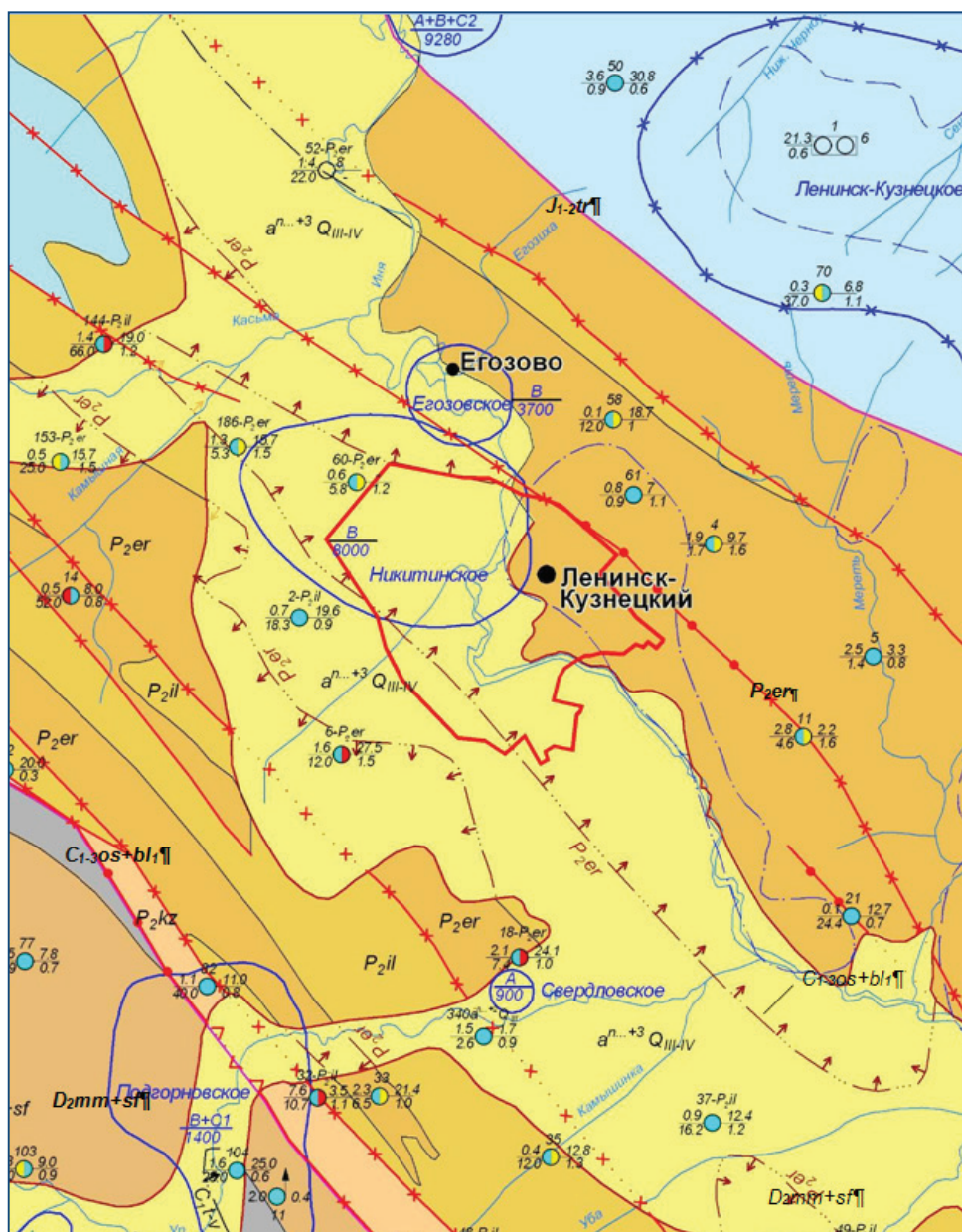
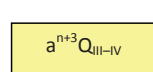


Рис. 6. Гидрогеологическая карта 1:200000

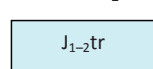
Fig. 6. Hydrogeological map 1:200000

Условные обозначения к гидрогеологической карте:

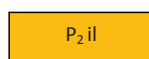
1.1. Гидрогеологические подразделения, распространенные по площади



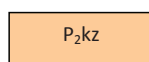
Водоносный комплекс верхнечетвертичных-современных аллювиальных образований пойменных, первых, вторых и третьих надпойменных террас крупных рек и их притоков. Пески, пески с гравием, суглинки, торф.



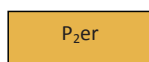
Водоносный комплекс нижне-среднеюрских терригенных пород терсюкской свиты Подобасско-Тутуяского бассейна. Песчаники, конгломераты, алевролиты, угли.



Водоносная зона верхнепермских угленосно-терригенных пород ильинской подсерии. Песчаники, алевролиты, аргиллиты, угли.



Водоносный комплекс верхнепермских терригенных пород кузнецкой подсерии. Алевролиты, песчаники, реже аргиллиты.



Водоносная зона верхнепермских угленосно-терригенных пород ерунаковской подсерии. Алевролиты, песчаники, аргиллиты, угли.

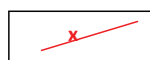
$C_{1-3}os+bl_1$

Водоносный комплекс нижне-верхнекаменноугольных пород острогской свиты $C_{1-2}os$ и нижнебалахонской $C_{2-3}bl_1$ подсерии. Алевролиты, песчаники, аргиллиты, конгломераты, угли.

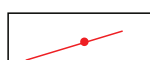
D_2mm+sf

Водоносный комплекс среднедевонских эффузивно-карбонатных пород мамонтовской – D_2mm и сафоновской (живетский ярус) – D_3sf свит. Туфопесчаники, конгломераты, гравелиты.

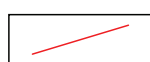
1.2. Подразделения, распространенные линейно (зоны разломов)



Водоносные



Не водоносные



Гидрогеологическое значение которых не выяснено

1.3. Водозаборные сооружения

74
 $\frac{1,8}{8,1} \frac{6,1}{0,8}$

Скважина. Цифра сверху – номер; слева в числителе – дебит, л/с; в знаменателе – понижение, м; справа в числителе – глубина установившегося уровня, м; в знаменателе – минерализация воды, г/дм³.

Никитинское
В
8000

Граница месторождения подземных вод.

В числителе – категория запасов, в знаменателе – запасы, м³/сут.

Водообильность пород неоднородна, как в плане, так и в разрезе, и зависит от литологического состава водовмещающих пород, степени их трещиноватости и гипсометрических отметок залегания. Наибольшую обводненность имеют песчаники в зо-

не выветривания и тектонических нарушений. Прочие литологические различия пород менее водоносны, а слои аргиллитов иногда практически водоупорны. Дебиты скважин, вскрывающих воды отмеченного комплекса, при ненарушенном режиме колеблются от 0,5 л/с при понижении уровня от 3,1 м до 4,4 л/с при понижении уровня 28,0 м, в среднем составляя 1,6–2,1 л/с. Наиболее обводнены отложения в депрессиях рельефа и в значительной степени на водоразделах и склонах.

Водопроводимость пород описываемого водонесущего комплекса составляет 20–30 м²/сут, увеличиваясь на локальных участках до 60 м²/сут. Средний коэффициент фильтрации не превышает 0,5 м/сут, коэффициент уровня непроницаемости лежит в пределах $(3-8) \cdot 10^3$ м²/сут. С глубиной резко снижаются параметры, характеризующие степень обводненности пород. На глубинах свыше 150 м коэффициенты фильтрации не превышают значений 0,002–0,08 м/сут, редко достигая величины 0,5 м/сут; водопроводимость низкая 0,1–1,8 м³/сут, реже 8 м³/сут. Обводненность пород в зонах разрывных нарушений, типа открытых взбросов, несколько повышена. Удельные дебиты скважины достигают значений от 0,002–0,03 до 2,06–5,74 л/с. Коэффициент водопроводимости возрастает до 300 м²/сут, коэффициент фильтрации изменяется от 0,02–0,3 до 3,36 м/сут.

Питание подземных вод местное инфильтрационное, осуществляется за счет атмосферных осадков. Разгрузка при естественных условиях на площади распространения идет в местную гидрографическую сеть. Естественный поток направлен от водораздельной части к рекам Мереть и Еловка.

Общие водоприитоки в шахту «Алексиевская» по отработываемым пластам за 2005–2015 гг. составляли от 183 до 622 м³/ч (рис. 7, табл. 2). В весенний период водоприитоки кратковременно увеличиваются в 1,5–2 раза. Граничные условия фильтрации водонесущего комплекса довольно сложные и определяются положением его относи-

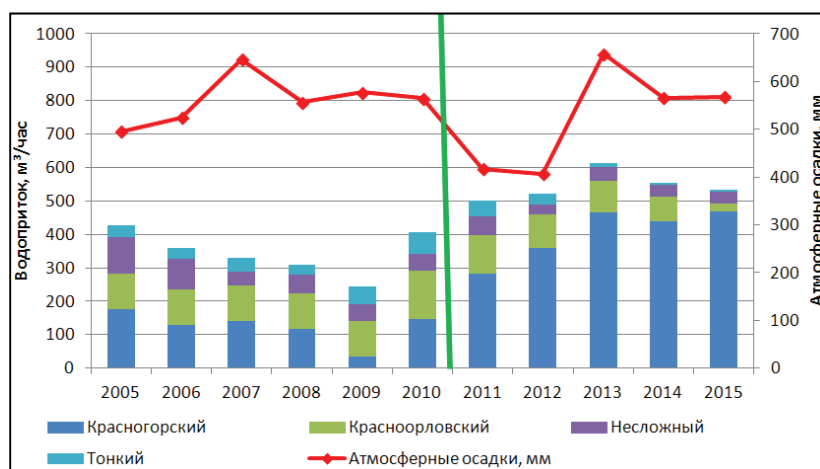


Рис. 7. Изменение среднегодового водоприитока и атмосферных осадков с 2005 по 2015 гг. на шахте «Алексиевская»

Fig. 7. Change in average annual water inflow and atmospheric precipitation from 2005 to 2015 in the mine Alexievskaya

тельно искусственных дренажных сооружений шахт и разрезов.

Таблица 2. Водоприток в горные выработки по шахте «Алексиевская»

Table 2. Water inflows into the mine Alexievskaya

Дата, год Data, year	Пласт Layer	Общий водоприток, м³/ч Total water inflow, m³/h		
		max	min	mean
2005	Красноорловский Krasnoorlovsky	191	163	177
	Несложный/Neslozhny	130	89	110
	Тонкий/Tonky	36	30	33
	Итого/sum	348	280	320
2006	Красноорловский Krasnoorlovsky	159	100	130
	Несложный/Neslozhny	120	62	91
	Тонкий/Tonky	35	30	33
	Итого/sum	335	205	254
2007	Красноорловский Krasnoorlovsky	171	110	141
	Несложный/Neslozhny	625	21	42
	Тонкий/Tonky	48	31	40
	Итого/sum	284	195	240
2008	Красноорловский Krasnoorlovsky	118	115	117
	Несложный/Neslozhny	82	32	57
	Тонкий/Tonky	40	36	28
	Итого/sum	240	183	212
2009	Красногорский Krasnogorsky	66	2	34
	Красноорловский Krasnoorlovsky	110	102	106
	Несложный/Neslozhny	56	48	52
	Тонкий/Tonky	54	50	52
	Итого/sum	212	196	204
2010	Красногорский Krasnogorsky	240	53	147
	Красноорловский Krasnoorlovsky	172	114	143
	Несложный/Neslozhny	68	38	53
	Тонкий/Tonky	70	55	63
	Итого/sum	550	316	433
2011	Красногорский Krasnogorsky	360	203	282
	Красноорловский Krasnoorlovsky	143	91	117
	Несложный/Neslozhny	60	48	54
	Тонкий/Tonky	59	38	49
	Итого/sum	622	380	501

Группа пластов Красногорского, Красноорловского, Несложного, Тонкого развита практически по всему участку. На большей площади своего распространения эти пласты попадают в зону неблагоприятных гидрогеологических условий по отношению к их отработке. Вмещающие породы представлены слоями мощных песчаников, мощность которых составляет от 15 до 40 м, а они в свою оче-

редь отделены от пластов маломощными слоями алевролитов и аргиллитов. Песчаники, как правило, сильно трещиноватые и обладают высокой водопроницаемостью.

Водопроницаемость пород, залегающих над пластом Красногорским, в долине реки Мереть достигает 176–1180 м³/сут, а песчаников над пластом Красноорловским изменяется в пределах 160–1265 м³/сут. Наиболее высокие значения коэффициентов водопроницаемости характеризуют водопроницаемость отдельных открытых трещин, которые участвуют в формировании водоприток.

В пределах водораздела рек Мереть и Еловка ранее велись горные работы по добыче пластов Колмогоровского-Шурфового, затем отработанное пространство было засыпано отработанной породой и рекультивировано. Глубина отработки составила в среднем 30–40 м (с локальным максимумом до глубины 50–70 м). Во время отработки угольных пластов наблюдалась срезка уровня подземных вод до глубины 30–40 м, после рекультивации уровень подземных вод частично или полностью восстановился. На поверхности участка располагается ряд гидроотвалов и отстойников, которые являются потенциальными источниками загрязнения поверхностных и подземных вод. По сложности гидрогеологических условий поле шахты относится ко второй группе со сложными гидрогеологическими условиями.

Результаты исследования

Авторами предпринята попытка оценить сезонную динамику водоприток в открытые и подземные горные выработки. Понимая, что водоприток в горные выработки формируются под влиянием сложного сочетания естественных и искусственных факторов на каждом месторождении [16–19], считаем, что сезонную цикличность можно убедительно объяснить ведущей ролью влияния интенсивности атмосферных осадков и их внутригодовым распределением.

Наиболее существенное влияние на формирование и динамику водоприток в центральной части Кузнецкого угольного бассейна оказывают многолетние и сезонные колебания суммы атмосферных осадков, особенно в тех случаях, когда это приходная статья водного баланса является основным, а иногда и единственным источником формирования водоприток в горные выработки. Как показывают режимные наблюдения, величины водоприток при открытой и подземной отработке угольных месторождений (рис. 8) испытывают сезонные изменения в соответствии с колебаниями интенсивности атмосферных осадков в течение календарного года.

Характерной особенностью цикличности сезонных изменений водоприток является наличие двух хорошо выраженных максимумов, приходящихся на период весеннего снеготаяния и осенних дождей.

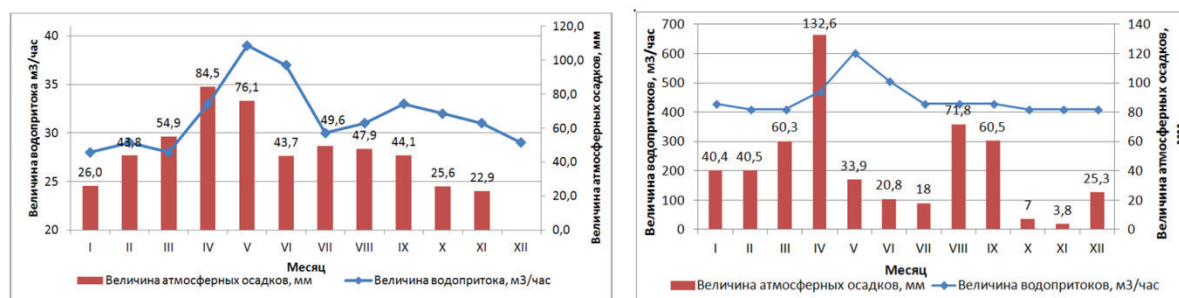


Рис. 8. Зависимость водопритоков от величины атмосферных осадков на шахте «7 Ноября» 2010 г. (слева) и карьере «Суворовский» на 2006 г. (справа)

Fig. 8. Dependence of water inflows on the value of atmospheric precipitation on the section of the quarry Suvorovsky for 2006 (right) and in the mine 7 Noyabrya for 2010 (left)

Первый максимум водопритоков характеризует инфильтрацию талых вод, то есть тесно связан с переходом в жидкую фазу всей суммы атмосферных осадков, накопленных за предшествующий период отрицательных температур.

При исследовании влияния атмосферных осадков на эксплуатацию подземных горных выработок замечено, что с увеличением глубины отработки полезного ископаемого время запаздывания максимума водопритока от пика поступления талых вод увеличивается.

Интенсивность обводнения горных пород за счет инфильтрационного питания определяется не только гидрогеологическими условиями месторождения, но и способами разработки пластов полезного ископаемого. Все угольные шахты Кузбасса ведут подземную добычу угля с обрушением кровли, что может создавать крупные зоны сдвижения горных пород и формировать системы открытых трещин. В этих зонах образуются области повышенной проницаемости, что способствует улучшению гидравлической связи горных выработок с поверхностью, изменяя условия инфильтрации атмосферных осадков.

Климатические условия относятся к группе основных быстроизменяющихся факторов, определяющих не только расходы и уровни поверхностных водотоков, но и, опосредованно, режим подземных вод. Значительную роль в изменении питания подземных вод играют в первую очередь атмосферные осадки в жидкой фазе. В условиях резко континентального климата важно учитывать наличие переходных сезонов года (весна, осень); весной происходит интенсивное таяние твердых осадков, накопленных в зимний период, что может приводить к заметному сезонному увеличению водопритоков в горные выработки [20].

Нами проведен анализ многолетней изменчивости климатического фактора формирования водопритоков в горные выработки. В основу анализа положены данные ежедневных срочных наблюдений за температурой воздуха и суммой атмосферных осадков. Оценка устойчивых тенденций в многолетней изменчивости метеорологических параметров с течением времени выполнена на основе

методов статического анализа. Исходным материалом послужили специализированные исходные базы данных метеорологической информации.

Для выявления закономерностей многолетней изменчивости температуры воздуха и атмосферных осадков их статистической значимости использован критерий Питмена. Проверка рабочей гипотезы случайности рассматриваемой величины или функции является неотъемлемым этапом статистического анализа. Сущность проверки заключается в выяснении вопроса о том, является ли изменение данной величины случайным или закономерным, связанным с каким-либо постоянно действующим фактором. Изменения могут быть объяснены случайными отклонениями или проявлением закономерностей, связанных с глобальными процессами изменения климата [21–23]. Многолетняя изменчивость климатических показателей за период с 1955 по 2015 гг. показана на рис. 9.

При исследовании изменения температуры воздуха в Кемерово за последние 60 лет получены следующие результаты (рис. 9). В среднем температура воздуха за период с 1955 по 2015 гг. увеличилась на 1,7 °С. Если в период с 1955 по 1985 гг. среднегодовая температура составляла 0–0,5 °С, то в последние десятилетия она превышает 1,5 °С.

По аналогии с исследованием изменения температуры была изучена особенность изменения суммы атмосферных осадков за период с 1955 по 2015 гг. для города Кемерово, вследствие чего получены следующие результаты (рис. 7). Выявлен тренд, направленный на увеличение среднегодовой величины атмосферных осадков на 200 мм за последние 60 лет. Следует подчеркнуть, что это увеличение составляет порядка 1/3 с начала периода, причем увеличение суммы атмосферных осадков фиксируется в зимний период.

Тенденция увеличения атмосферных осадков наблюдается с сентября по апрель, уменьшение фиксируется в августе. Статистически значимое увеличение наблюдается в зимний период – с октября по март, следовательно, увеличиваются запасы воды в твердой фазе осадков, которые при таянии провоцируют интенсификацию питания подземных вод (рис. 10).

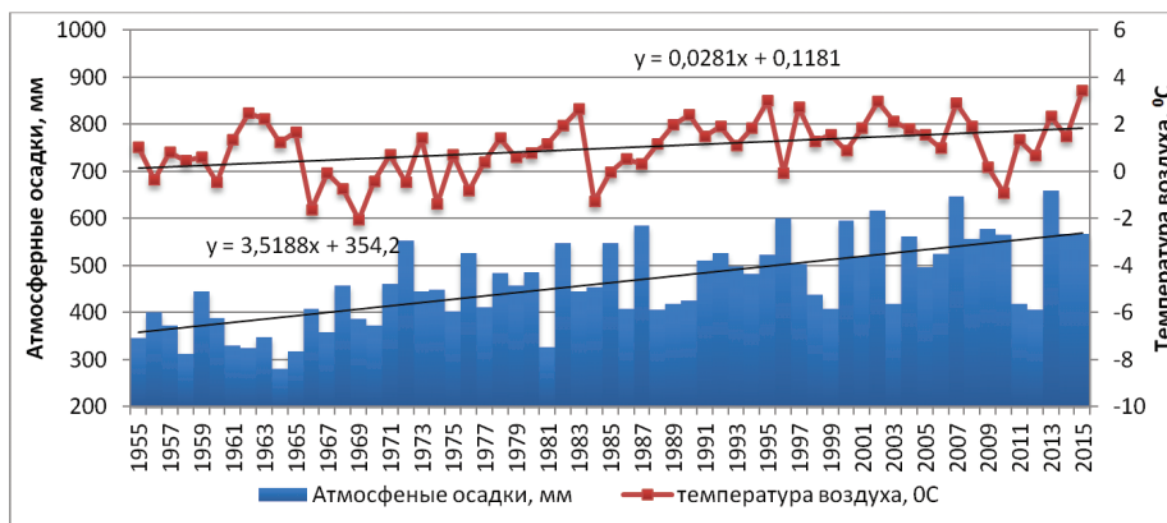


Рис. 9. Временной ход среднегодовой суммы атмосферных осадков и температуры воздуха с линейными трендами за период с 1955 по 2015 гг. в г. Кемерово

Fig. 9. Time course of atmospheric precipitation and air temperature with linear trends for 1955 to 2015 in Kemerovo

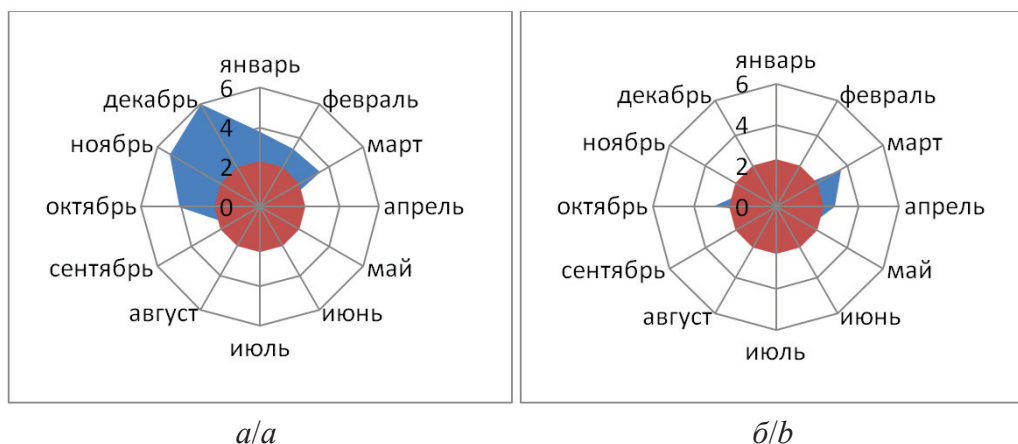


Рис. 10. Оценка однородности выборки по месяцам с 1955 по 2015 гг.: а) величина атмосферных осадков; б) слева – температура воздуха

Fig. 10. Homogeneity of the data by months from 1955 to 2015: а) amount of precipitation; б) air temperature

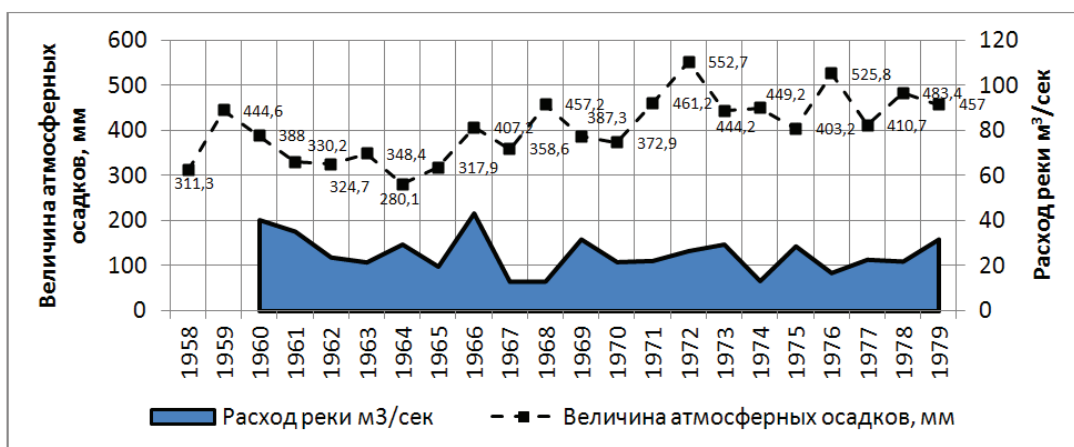


Рис. 11. Среднегодовая величина атмосферных осадков и расхода реки Инья

Fig. 11. Average annual value of atmospheric precipitation and discharge of the Inya River

Выявленная тенденция временной изменчивости атмосферных осадков приобретает особую значимость при решении геофильтрационных задач в нестационарной постановке, направленной на изучение изменения гидрогеологических условий методами численного моделирования под влиянием отработки месторождений твердых полезных

ископаемых и при подсчете запасов подземных вод.

Атмосферные осадки оказывают непосредственное влияние на условия формирования поверхностного стока (рис. 11), который может участвовать в формировании дополнительного питания подземных вод [24].

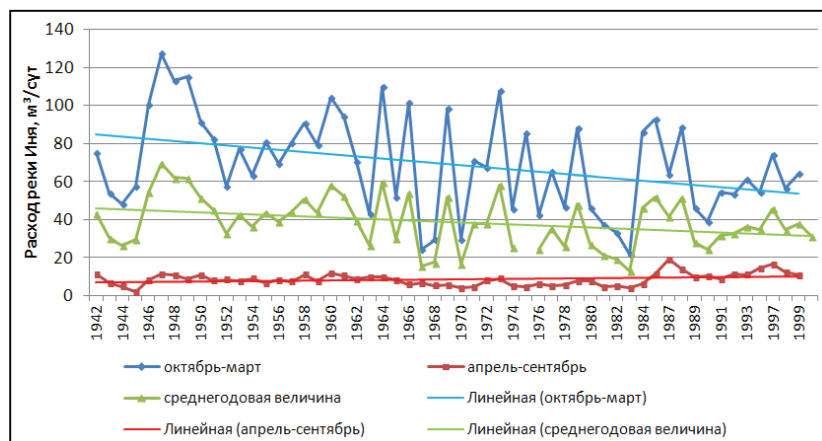


Рис. 12. Среднегодовое изменение расхода реки Инья в период с 1942 по 2000 гг.

Fig. 12. Average annual change in the flow of the Inya River between 1942 and 2000

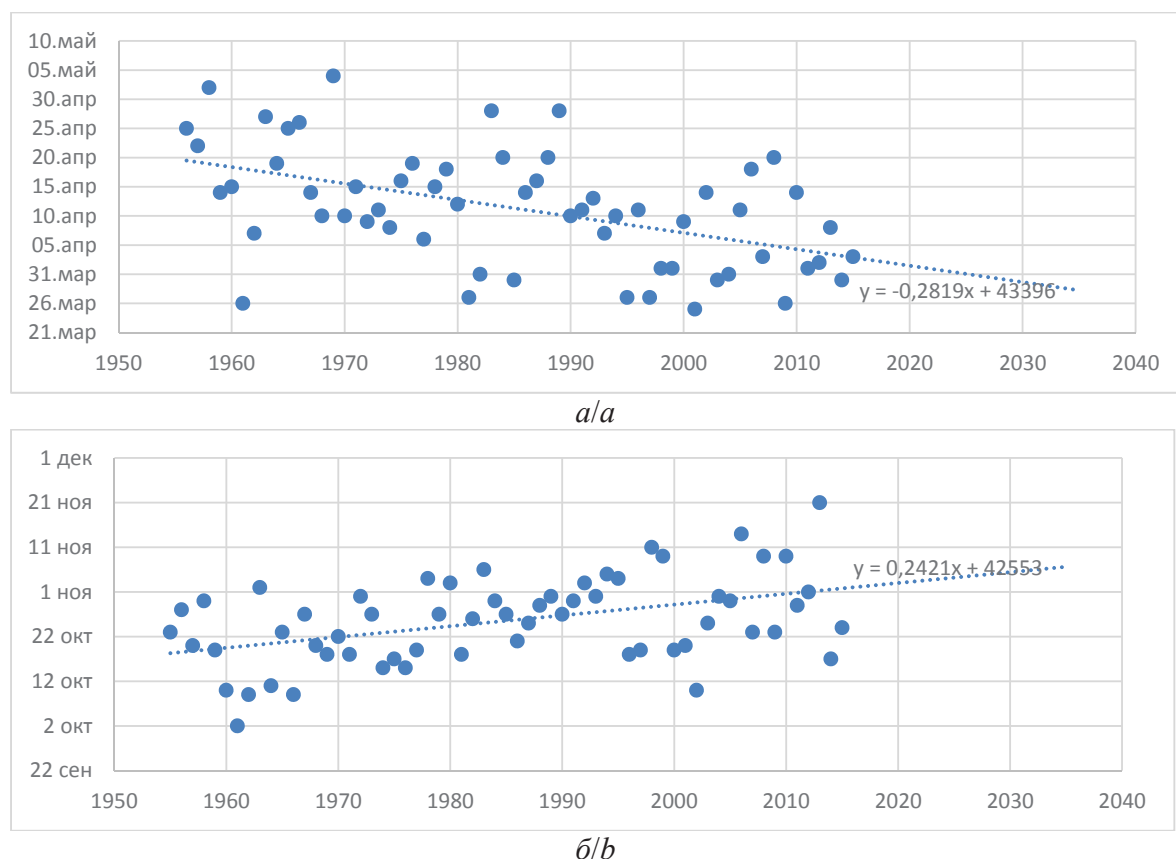


Рис. 13. Дата перехода температуры воздуха через 0 °C: а) от зимы к весне; б) от осени к зиме

Fig. 13. Data of air temperature transition through 0 °C: a) from winter to spring; b) from autumn to winter

Угольные месторождения, расположенные в непосредственной близости от поверхностных водоемов, отличаются высокой водообильностью горных пород, вследствие чего формируются дополнительные водоприток [25–27]. Нами изучен временной ряд изменения расходов реки Иня в период с 1942 по 2000 гг. (рис. 12).

В среднем за период исследований расход реки в створе города Ленинск-Кузнецкого уменьшается на $15 \text{ м}^3/\text{сут}$. Это уменьшение носит сложный характер. В зимний период – с октября по март – величина расхода растет (увеличение на $5 \text{ м}^3/\text{сут}$), а в летний сезон уменьшился на $19 \text{ м}^3/\text{сут}$ за 50 лет.

Внутригодовое перераспределение атмосферных осадков может быть связано и с многолетними тенденциями температурных изменений. Анализ показывает, что заметно смещаются границы зимнего и летнего сезонов. Эти изменения показаны на рис. 13.

Средняя дата перехода среднесуточной температуры воздуха через 0°C от зимы к лету в начале периода отмечалась 20-го апреля, а к 2015 г. сместилась к 5 апреля (рис. 13, а). Переход среднесуточной температуры через 0°C от лета к зиме также сместился с 17-го октября к 1-му ноября в 2015 г. (рис. 13, б). Таким образом, продолжительность безморозного периода за 50 лет возрасла в среднем от 180 до 210 суток (рис. 14).

Характерно, что влияние отмеченных температурных закономерностей сказывается на всей площади водосборного бассейна.

Кроме естественных факторов величина водоприток в существенной степени зависит от площади горных работ и объема подработанного пространства в подземных горных выработках [18, 25]. Рост водоприток пропорционально масштабам горных работ установлен на шахте Алексиевская (рис. 15).

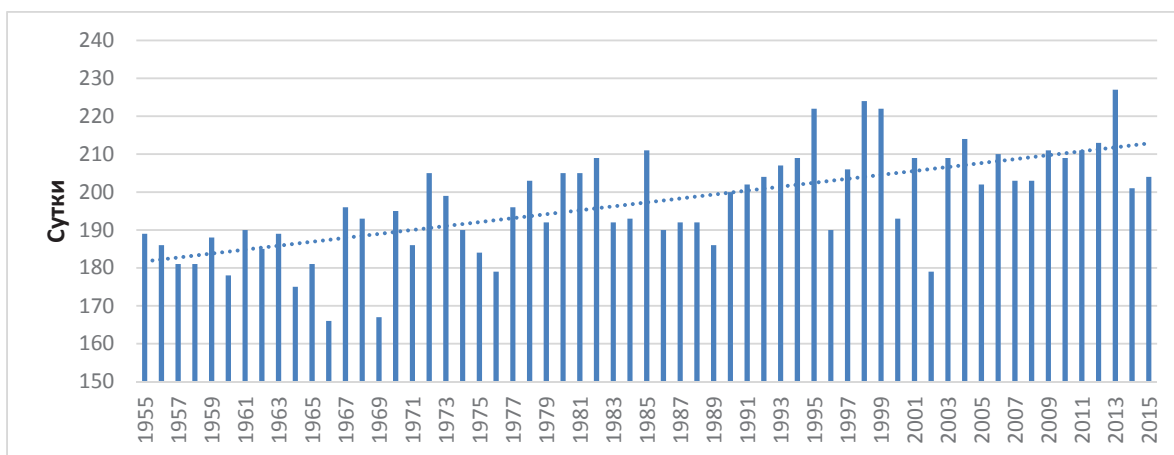


Рис. 14. Продолжительность безморозного периода

Fig. 14. Duration of the frost-free period

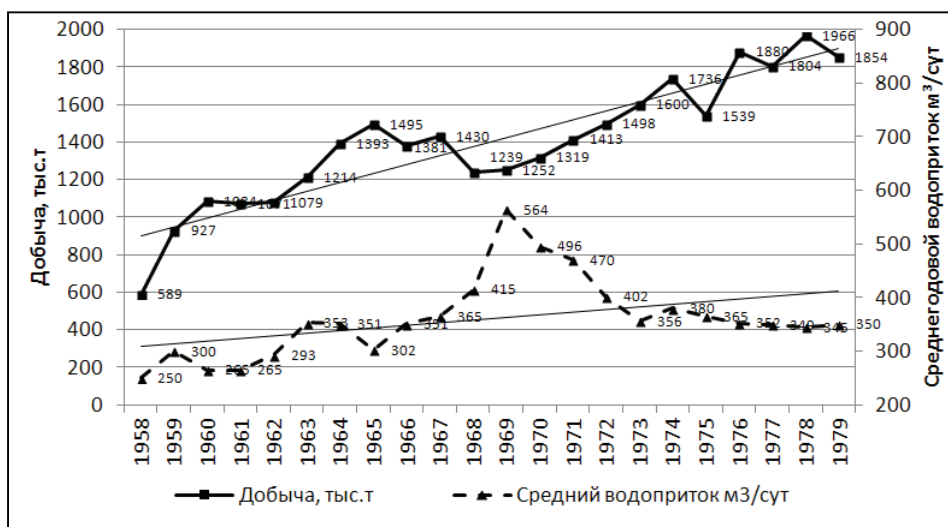


Рис. 15. Среднегодовой водоприток и объемы добычи с 1958 по 1979 гг. на шахте «Алексиевская»

Fig. 15. Average annual water inflow and production volumes from 1958 to 1979 in the mine Aleksievskaya

Совместный анализ объема добычи и водоприитоков в подземные горные выработки шахты «Алексиевская» показывает, что с увеличением объема добычи угля водоприиток увеличивается, но данная зависимость не является линейной (рис. 15). С течением временем среднегодовые водоприитоки в горные выработки стабилизируются и отработка полезного ископаемого проходит в стационарном гидродинамическом режиме. С увеличением глубины отработки влияние высокообводненных зон экзогенной трещиноватости и питающих граничных условий ослабевает.

Рассматривая особенности формирования водоприитоков в подземных горных выработках нами выделено три режимных этапа. Первый этап характеризуется развитием фронта горных работ, сработкой естественных запасов подземных вод при усиленном влиянии климатических факторов. Второй этап с предельным развитием размеров депрессионной воронки и увеличением глубины отработки, что сопровождается стабилизацией водоприитоков. На третьем этапе водоприитоки формируются в зоне замедленного водообмена в условиях ослабленного влияния климатических факторов [28–30].

Ярким примером в данном случае может служить шахта «Алексиевская», водоприитоки на которой до 2010 г. формировались в квазистационарном режиме, преимущественно завися от объема добычи, с 2011 г. водоприиток в подземные горные выработки стабилизируется и прослеживается зависимость от величины атмосферных осадков, что свидетельствует об установившемся режиме.

Выводы

1. Оценка климатических характеристик продемонстрировала их ведущее влияние на формирование водоприитоков в горные выработки. Питание водоносных горизонтов осуществляется преимущественно за счет инфильтрации атмосферных осадков, а также в следствии просачивания сквозь подрусловые отложения вод поверхностных водотоков и водоемов.
2. При помощи статистических методов о случайности и наличии тренда с использованием критерия Питмена и критерия инверсий, соответственно, проведен анализ изменения метеоро-

логических характеристик во временного. В результате получено следующее:

- a) На протяжении последних 60 лет прослеживается положительный тренд величины атмосферных осадков на 200 мм. Тенденция, направленная на увеличение, наблюдается с сентября по апрель, и на уменьшение в августе, статистически значимое увеличение наблюдается в зимний период – с октября по март, следовательно, увеличиваются объемы воды в твердых осадках, которые при таянии провоцируют дополнительное питание подземных вод
 - b) За период с 1955 по 2015 гг. в среднем температура воздуха увеличилась на 1,7 °С. Если в период с 1955 по 1985 гг. среднегодовая температура составляла 0–0,5 °С, то последние десятилетия она превышает 1,7 °С. Выявленную тенденцию потепления можно связать с локальными причинами, обусловленными развитием инфраструктуры населенных пунктов, а также объяснить долговременными процессами естественного изменения климата.
 - c) За период с 1942 по 2000 гг. выявлен отрицательный тренд среднегодового расхода реки Ини на 15 м³/сут, в зимний период – с октября по март – среднегодовая величина расхода растет (увеличение на 5 м³/сут), а в летний период, среднегодовой расход за 50 лет уменьшился на 19 м³/сут. При сопоставлении полученных данных о расходе воды в реке Иня с величиной атмосферных осадков логично предположить, что на увеличение расхода потока в зимний период влияет увеличение атмосферных осадков, в то же время падение расхода возникает вследствие осушения водоносных зон при ведении горных работ.
3. Из анализа изменения водоприитоков в подземные горные выработки на примере шахты «Алексиевская» следует, что с увеличением объемов добычи водоприиток будет возрастать, но зависимость не является линейной.

Исследование выполнено в Томском политехническом университете в рамках программы повышения конкурентоспособности Томского политехнического университета (средства ВИУ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Coalnews – Уголь Кузбасса. URL: <http://coalnews.ucoz.ru> (дата обращения 20.12.2017).
2. Воздвиженская А. Причина не за горами // Российская газета – Федеральный выпуск № 7208 (42). URL: <https://rg.ru/2017/02/28/smertnost-na-ugolnyh-shahtah-v-rossii-vyroslavdvoe.html> (дата обращения 20.12.2017).
3. Троянский С.В., Белицкий А.С., Чекин А.И. Гидрогеология и осушение месторождений полезных ископаемых. – М.: Углетехиздат, 1956. – 302 с.
4. Каменский Г.Н., Климентов П.П., Авчинников А.М. Гидрогеология месторождений полезных ископаемых. – М.: Госгеолгиздат, 1953. – 356 с.
5. Рогов Г.М., Попов В.К. Гидрогеология и катагенез пород Кузбасса. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1985. – 176 с.
6. Gridasov A., Kuzevanov K., Bogdanova A. Hydrogeological condition patterns of Kuznetsk Basin coalbed methane fields for estimating hydrodynamic calculations // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2016. – V. 43. – № 1. – P. 1–6.
7. Угольная база России. Т. II. Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири (Кузнецкий, Горловский, Западно-Сибирский, бассейны; месторождения Алтайского края и Республики Алтай). – М.: ООО «Геоинформцентр», 2003. – 604 с.
8. Yin S.X., Zhang J.C., Liu D.M. A Study of Mine Water Inrushes by Measurements of in Situ Stress and Rock Failures // Natural Hazards. – 2015. – V. 79. – № 3. – P. 1961–1979.

9. Changes in Water and Sediment Exchange between the Changjiang River and Poyang Lake under Natural and Anthropogenic Conditions, China / J.H. Gao, J.J. Jia, A.J. Kettner, F. Xing, Y.P. Wang, X.N. Xu, Y. Yang, X.Q. Zou, S. Gao, S.H. Qi, F.Q. Liao // *Science of the Total Environment*. – 2014. – V. 481. – P. 542–553.
10. Gui H.R., Song X.M., Lin M.L. Water-Inrush Mechanism Research Mining above Karst Confined Aquifer and Applications in North China Coalmines // *Arabian Journal of Geosciences*. – 2017. – V. 10. – № 7. – P. 1–10.
11. Христофоров А.В. Надежность расчетов речного стока. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – 168 с.
12. Rapp J., Schniewiese Ch.D. Atlas der Niederschlags und Temperaturentrends in Deutschland 1891–1990 // *Frankfurter Geowissenschaftliche Arbeiten: Serie B Meteorologie und Geophysik*. – Frankfurt am Main: Universität Frankfurt, 1996. – Bd. 5. – 255 s.
13. Groundwater Outbursts from Faults above a Confined Aquifer in the Coal Mining / R. Zhang, Z.Q. Jiang, H.Y. Zhou, C.W. Yang, S.J. Xiao // *Natural Hazards*. – 2014. – V. 71. – № 3. – P. 1861–1872.
14. Степанов В. Угольные разрезы Кузбасса («Кузбассразрезуголь») – фоторепортаж. URL: <https://sdelanounas.ru/blogs/38557/> (дата обращения 20.12.2017).
15. Гидрогеология Ерунаковского района Кузбасса в связи с проблемой образования ресурсов и добычи угольного метана / Л. Шварцев, В.Т. Хрюкин, Е.В. Домрочева, К.И. Кузеванов, Н.М. Рассказов, Т.С. Попова, О.Е. Лепокурова, Е.В. Швачко // *Геология и геофизика*. – 2006. – Т. 47. – № 7. – С. 881–891.
16. Wang J.A., Tang J., Jiao S.H. Seepage Prevention of Mining-Disturbed Riverbed // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. – 2015. – V. 75. – P. 1–14.
17. Scenario Analysis of Mine Water Inrush Hazard Using Bayesian Networks / J.S. Wu, S.D. Xu, R. Zhou, Y.P. Qin // *Safety Science*. – 2016. – V. 89. – P. 231–239.
18. Василенко Н.Г., Журавин С.А., Марков М.Л. Водно-балансовые расчеты при оценке водоприитока в действующие карьеры (на примере карьеров Костомукшского гока) // *Инженерные изыскания*. – 2016. – № 2. – С. 30–37.
19. In Situ Measurement of Hydraulic Properties of the Fractured Zone of Coal Mines / Z. Huang, Z.Q. Jiang, X. Tang, X.S. Wu, D.C. Guo, Z.C. Yue // *Rock Mechanics and Rock Engineering*. – 2016. – V. 49. – № 2. – P. 603–609.
20. Савичев О.Г. Гидрогеология, метеорология и климатология: гидрологические расчеты. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 224 с.
21. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). URL: <http://meteo.ru/> (дата обращения 20.12.2017).
22. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Ч. 1–6. Вып. 20. Томская, Новосибирская, Кемеровская области, Алтайский край. – СПб.: Изд-во «Гидрометеиздат», 1993. – С. 158–175.
23. Климатология / О.А. Дроздов, В.А. Васильев, Н.В. Кобышева, А.Н. Раевский, Л.К. Смекалова, Е.П. Школьный. – Л.: Изд-во «Гидрометиздат», 1989. – 568 с.
24. Аузина Л.И. Особенности обводненности золоторудных месторождений Витимо-патомского нагорья // *Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений*. – 2017. – Т. 40. – № 1 (58). – С. 127–136.
25. Fully Integrated Surface-Subsurface Flow Modelling of Groundwater-Lake Interaction in an Esker Aquifer: Model Verification with Stable Isotopes and Airborne Thermal Imaging / P. Ala-Aho, P.M. Rossi, E. Isokangas, B. Klove // *Journal of Hydrology*. – 2015. – V. 522. – P. 391–406.
26. Rudorff C.M., Melack J.M., Bates P.D. Flooding Dynamics on the Lower Amazon Floodplain: 2. Seasonal and Interannual Hydrological Variability // *Water Resources Research*. – 2014. – V. 50. – № 1. – P. 635–649.
27. Фи Хонг Тхинь, Строкова Л.А. Типизация грунтовых толщ территории города Ханой (Вьетнам) при изучении оседания земной поверхности при водопонижении // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2017. – Т. 328. – № 4. – С. 6–17.
28. Пургина Д.В., Строкова Л.А., Кузеванов К.И. Моделирование гидрогеологических условий для обоснования противооползневых мероприятий на участке набережной реки Камы в городе Перми // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2016. – Т. 327. – № 1. – С. 116–127.
29. The research underflooding processes of architecture monuments on the territory of Tomsk with using gistechnology / V. Pokrovskiy, D. Pokrovskiy, E. Dutova, A. Nikitenkov // *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management*. – 2014. – V. 2 (1). – P. 935–941.
30. Hydrogeological Conditions Changes of Tomsk, Russia / V.D. Pokrovsky, E.M. Dutova, K. Kuzevanov, D.S. Pokrovsky, N.G. Nalivaiko // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2015. – V. 27. – P. 1–5.

Поступила 22.12.2017 г.

Информация об авторах

Пургина Д.В., аспирант отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Кузеванов К.И., кандидат геолого-минералогических наук, доцент отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

UDK 556.343

WATER INFLOW INTO MINE UNDER THE INFLUENCE OF EXTERNAL BOUNDARY CONDITIONS AT COAL DEPOSIT EXPLOITATION (KUZBASS)

Darya V. Purgina¹,
purgina_darya@mail.ru

Konstantin I. Kuzevanov¹,
kki@tpu.ru

¹ National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia.

Relevance. Safety and efficiency of coal deposit development depends directly on natural hydrogeological conditions and their changes under the influence of mining deposits in various ways. Particularly significant and sudden complications can arise with high water cut of rocks, a sharp change in their filtration properties under the influence of mining operations or changes in supply of aquifer complexes. Multidirectional factors of water inflow of coal deposits determine the need to identify and analyze the leading factors in formation of water inflows into underground mines.

The aim of the study is to analyze natural factors effecting the change in the magnitude of water inflows in mining solid minerals by the underground method using the example of coal mines in the central part of Kuzbass; study the hydrogeological conditions of coal deposits, using a similar method; identify regularities and group the leading factors in formation of water inflows into underground mining.

Methodology. To study the magnitude of possible meteorological changes, the material was provided by specialized electronic databases, both monthly averages and urgent observations of air temperature and the amount of atmospheric precipitation. Information array processed by the weather station in Kedrovka (Kemerovo) for 1955 to 2015 was obtained from the All-Russian Scientific Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center (VNIIGMI-WDC), literature sources and stock materials. The materials provided by the «Zarechnaya» LLC «Georesurs» Ltd., as well as the data on water inflows in Alexeyevskaya mine and 7 Noyabrya mine were used as the initial data on water inflows and filtration properties of rocks for monitoring geological environment on the fields. Processing meteorological parameters to identify their patterns is based on the use of statistical methods of data processing. The results are visualized using Microsoft Word, Excel, Surfer, AutoCad.

Results. The authors have revealed the factors that have the greatest influence on formation of water inflow into the mine workings, and carried out the analysis of the change in climatic characteristics by the temporary statistical methods on randomness and presence of a trend using the Pitman criterion and the inversion criterion, respectively. Based on the results of the research, a conceptual model of formation of water inflows into mining is constructed.

Key words:

Underground water, mining, infiltration recharge, water inflow, Pitman test, mine, Kuzbass Adartisian basin, longwall, coal heading.

The research was carried out at Tomsk Polytechnic University within the Competitiveness Enhancement Program.

REFERENCES

1. Coalnews – Ugol Kuzbassa [Coalnews – Coal of the Kuzbass]. Available at: <http://coalnews.ucoz.ru> (accessed 20 December 2017).
2. Vozdvizhenskaya A. Pritchina ne za gorami [The reason is not far off]. Rossiyskaya gazeta – Federalny vypusk no. 7208 (42) [Rossiyskaya Gazeta – Federal issue no. 7208 (42)]. Available at: <https://rg.ru/2017/02/28/smertnost-na-ugolnyh-shahtah-v-rossii-vyrosla-vdvoe.html> (accessed 20 December 2017).
3. Troyansky S.V., Belitsky A.S., Chekin A.I. *Gidrogeologiya i osushenie mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh* [Hydrogeology and drainage of mineral deposits]. Moscow, Ugletekhizdat Publ., 1956. 302 p.
4. Kamensky G.N., Klimentov P.P., Avchinnikov A.M. *Gidrogeologiya mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh* [Hydrogeology of mineral deposits]. Moscow, Gosgeolizdat Publ., 1953. 356 p.
5. Rogov G.M., Popov V.K. *Gidrogeologiya i katagenez porod Kuzbassa* [Hydrogeology and katagenesis Kuzbass rocks]. Tomsk, Tomsk State University Publ., 1985. 176 p.
6. Gridasov A., Kuzevanov K., Bogdanova A. Hydrogeological condition patterns of Kuznetsk Basin coalbed methane fields for estimating hydrodynamic calculations. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2016, vol. 43, no. 1, pp. 1–6.
7. Ugolnaya baza Rossii. T. II. Ugolnye basseyny i mestorozhdeniya Zapadnoy Sibiri (Kuznetsky, Gorlovsky, Zapadno-Sibirsky, basseyny; mestorozhdeniya Altayskogo kraia i Respubliki Altay) [Coal base of Russia. Vol. II. Coal pools and deposits of Western Siberia (Kuznetsk, Gorlovsky and West-Siberian basins, deposits of the Altai region and the Altai Republic)]. Moscow, Geoinformtsentr Publ., 2003. 604 p.
8. Yin S.X., Zhang J.C., Liu D.M. A Study of Mine Water Inrushes by Measurements of in Situ Stress and Rock Failures. *Natural Hazards*, 2015, vol. 79, no. 3, pp. 1961–1979.
9. Gao J.H., Jia J.J., Kettner A.J., Xing F., Wang Y.P., Xu X.N., Yang Y., Zou X.Q., Gao S., Qi S.H., Liao F.Q. Changes in Water and Sediment Exchange between the Changjiang River and Poyang Lake under Natural and Anthropogenic Conditions, China. *Science of the Total Environment*, 2014, vol. 481, pp. 542–553.
10. Gui H.R., Song X.M., Lin M.L. Water-Inrush Mechanism Research Mining above Karst Confined Aquifer and Applications in North China Coalmines. *Arabian Journal of Geosciences*, 2017, vol. 10, no. 7, pp. 1–10.
11. Khristoforov A.V. *Nadezhnost raschetov rechnogo stoka* [Reliability of river flow calculations]. Moscow, MSU Publ., 1993. 168 p.
12. Rapp J., Schniewiese Ch.D. Atlas der Niederschlags und Temperaturtrends in Deutschland 1891–1990 [Atlas of Precipitation and Temperature Trends in Germany 1891–1990]. *Frankfurt Geological Survey: Series B Meteorology and Geophysics*. Frankfurt am Main, University of Frankfurt, 1996. Vol. 5, pp. 255. In Ger.

13. Zhang R., Jiang Z.Q., Zhou H.Y., Yang C.W., Xiao S.J. Groundwater Outbursts from Faults above a Confined Aquifer in the Coal Mining. *Natural Hazards*, 2014, vol. 71, no. 3, pp. 1861–1872.
14. Stepanov V. *Ugolnye razrezy Kuzbassa* [Coal opencast of Kuzbass] («Kuzbassrazrezugol»). Available at: <https://sdelanounas.ru/blogs/38557/> (accessed 20 December 2017).
15. Shvartsev L.S., Kxrykin V.T., Domrocheva E.V., Kuzevanov K.I., Passkazov N.M., Popova T.C., Lepokupova O.E., Shvachko E.V. Hydrology of the Erunkovo area of the Kuznetsk basin in the context of the problem of coal methane formation and mining. *Russian Geology and Geophysics*, 2006, vol. 47, no. 7, pp. 881–891. In Rus.
16. Wang J.A., Tang J., Jiao S.H. Seepage Prevention of Mining-Disturbed Riverbed. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2015, vol. 75, pp. 1–14.
17. Wu J.S., Xu S.D., Zhou R., Qin Y.P. Scenario Analysis of Mine Water Inrush Hazard Using Bayesian Networks. *Safety Science*, 2016, vol. 89, pp. 231–239.
18. Vasilenko N.G., Zhuravin S.A., Markov M.L. Water balance computations for the assessment of the water inflow to the mining quarries (the Kostomuksha quarries case study). *Engineering survey*, 2016, no. 2, pp. 30–37. In Rus.
19. Huang Z., Jiang Z.Q., Tang X., Wu X.S., Guo D.C., Yue Z.C. In Situ Measurement of Hydraulic Properties of the Fractured Zone of Coal Mines. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 2016, vol. 49, no. 2, pp. 603–609.
20. Savichev O.G. *Gidrogeologiya, meteorologiya i klimatologiya: gidrologicheskie raschety* [Hydrogeology, Meteorology und Climatology: hydrogeological calculation]. Tomsk, TPU Publ., 2011. 224 p.
21. *Federalnaya sluzhba po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchey sredy (Rosgidromet)* [Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Roshydromet)]. Available at: <http://meteo.ru/> (accessed 20 December 2017).
22. *Nauchno-prikladnyy spravochnik po klimatu SSSR. Seriya 3. Mnogoletnie dannye. Ch. 1–6. Vyp. 20. Tomskaya, Novosibirskaya, Kemerovskaya oblasti, Altajskiy kray* [Scientific and Applied Handbook on the Climate of the USSR. Series 3. Perennial data. P. 1–6. Iss. 20. Tomsk, Novosibirsk, Kemerovo regions, Altai area] St. Petersburg, Gidrometeoizdat Publ., 1993. pp. 158–175.
23. Drozdov O.A., Vasilyev V.A., Kobysheva N.V., Smekalova L.K., Shkolnyy E.P., *Klimatologiya* [Climatology]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1989. 568 p.
24. Auzina L.I. Water encroachment features of Vitim-patom highland gold deposits. *Proc. of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the RAEN. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits*, 2017, vol. 40, no. 1, pp. 127–136. In Rus.
25. Ala-Aho P., Rossi P.M., Isokangas E., Klove B. Fully Integrated Surface-Subsurface Flow Modelling of Groundwater-Lake Interaction in an Esker Aquifer: Model Verification with Stable Isotopes and Airborne Thermal Imaging. *Journal of Hydrology*, 2015, vol. 522, pp. 391–406.
26. Rudorff C.M., Melack J.M., Bates P.D. Flooding Dynamics on the Lower Amazon Floodplain: 2. Seasonal and Interannual Hydrological Variability. *Water Resources Research*, 2014, vol. 50, no. 1, pp. 635–649.
27. Phi Hong Thin, Strokova L.A. Classification of soil types for Hanoi (Vietnam) when studying land subsidence at groundwater extraction. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2017, vol. 328, no. 4, pp. 6–17. In Rus.
28. Purgina D.V., Strokova L.A., Kuzevanov K.I. Modeling hydrogeological conditions for antilandslide measures justification on the plot of the Kama river embankment in Perm. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2016, vol. 327, no. 1, pp. 116–127. In Rus.
29. Pokrovskiy, V., Pokrovskiy, D., Dutova, E., Nikitenkov, A. The research underflooding processes of architecture monuments on the territory of Tomsk with using gistechology. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management*, 2014, vol. 2 (1), pp. 935–941.
30. Pokrovsky V.D., Dutova E.M., Kuzevanov K.I., Pokrovsky D.S., Nalivaiko N.G. Hydrogeological Conditions Changes of Tomsk, Russia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2015, vol. 27, pp. 1–5.

Received: 22 December 2017.

Information about the authors

Darya V. Purgina, postgraduate student, National Research Tomsk Polytechnic University.

Konstantin I. Kuzevanov, Cand Sc., associate professor, National Research Tomsk Polytechnic University.