

Подземная гидросфера: материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России (XXIV Совещание по подземным водам востока Сибири и Дальнего Востока с международным участием), г. Екатеринбург, 21-28 июня 2024 г. / Институт горного дела УрО РАН [отв. ред.: док. геол.-минер. наук С.В. Алексеев, док. геол.-минер. наук Л. С. Рыбникова]. – Екатеринбург: Институт горного дела ИГД УрО РАН, 2024. – 556 с.

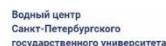
В сборнике представлены доклады XXIV совещания по подземным водам востока России. В нем отражены важнейшие результаты работ, выполненных научными, вузовскими и производственными коллективами как в области гидрогеологии, так и в сфере инженерной геологии и геокриологии. Материалы совещания представляют интерес для специалистов-геологов широкого профиля, теоретиков и практиков, а также для аспирантов и студентов.

ОРГКОМИТЕТ СОВЕЩАНИЯ

д.э.н. А.В. Душин (председатель)
д.т.н. И.В. Соколов (председатель)
д.г.-м.н. С.В. Алексеев
(сопредседатель,
ответственный редактор)
д.г.-м.н. И.В. Абатурова
д.г.-м.н. Л.П. Алексеева
д.г.-м.н. Б.В. Боревский
д.г.-м.н. С.В. Борзенко
д.г.-м.н. А.Г. Вахромеев
к.г.-м.н. Н.А. Виноград
д.г.-м.н. В.Е. Глотов
д.г.-м.н. О.М. Гуман
д.г.-м.н. Н.В. Гусева
к.г.-м.н. Л.В. Замана
д.г.-м.н. А.В. Кирюхин
д.г.-м.н. Г.Н. Копылова
д.т.н. С.В. Корнилков
д.г.-м.н. В.В. Кулаков

д.г.-м.н. О.Е. Лепокурова
к.г.-м.н. Н.Г. Максимович
к.г.-м.н. Д.А. Новиков
к.г.-м.н. А.Ю. Озёрский
д.т.н. А.Г. Плавник
д.г.-м.н. А.М. Плюснин
д.г.-м.н. С.П. Поздняков
д.г.-м.н. Л.С. Рыбникова
(заместитель председателя,
ответственный редактор)
чл.-корр. РАН В.Г. Румынин
к.г.-м.н. А.В. Скалин
д.т.н. С.Н. Тагильцев
(заместитель председателя)
д.г.-м.н. И.А. Тарасенко
д.г.-м.н. В.В. Шепелев
д.г.-м.н. Н.А. Харитонова
д.г.-м.н. А.П. Хаустов
д.г.-м.н. А.Л. Язвин

Проведение совещания и издание сборника осуществлено при спонсорской помощи И. В. Абатуровой, С. В. Алексеева, Л. П. Алексеевой, С. В. Борзенко, А. Г. Вахромеева, О. М. Гуман, А. В. Душина, Л. В. Замана, Г. Н. Копыловой, О. Н. Овечкиной, А. Ю. Озерского, Н. А. Павловой, В. А. Пеллинина, А. Г. Плавника, А. М. Плюснина, Л. С. Рыбниковой, П. А. Рыбникова, В. Г. Румынина, А. А. Светлакова, А. В. Скалина, И. В. Соколова, В. В. Шепелева, М. Ю. Широкова, А. Л. Язвина.



Работа выполнена в рамках проекта ААА-А21-121011890033-1. Геоэкологические риски и экстремальные природные явления Сибири и Дальнего Востока, частично с использованием средств проекта РНФ-313.

Список литературы

1. Воронина Ю. С., Плюсин А. М. Содержание редкоземельных элементов в снежном покрове на территории Джидинского ГОКа // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 2023, № 2, с. 122-132.
2. Чеснокова С.М. Основы токсикологии и экотоксикологии : учеб. пособие / С. М. Чеснокова, О. В. Савельев ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2019. – 132 с.
3. Плюсин А. М., Воронина Ю.С., Украинцев А. В., Чернявский М.К., Перязева Е.Г., Чебыкин Е.П. Загрязнение атмосферы от хранилищ отходов добычи и переработки вольфрам-молибденовых руд // Геохимия. – 2023. Т. 68. – № 12. – С. 1295–1311.
4. Чебыкин Е.П., Сороковикова Л.М., Томберг И.В., Воднева Е.Н., Рассказов С.В., Ходжер Т.В., Грачёв М.А. Современное состояние вод р. Селенги на территории России по главным компонентам и следовым элементам // Химия в интересах устойчивого развития. – 2012. – Т. 20. – № 5. – С. 613-631.
5. Приказ Минсельхоза РФ №552 от 13.12.2016 г. «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

КАЧЕСТВО ПИТЬЕВЫХ ВОД В КРЫМСКОМ ПРЕДГОРЬЕ

Каюкова Е.П.

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург
e-mail: epkaui@gmail.com*

Аннотация. В настоящей статье представлен материал о химическом составе питьевых подземных вод в предгорьях Крыма. В анионном составе вод повсеместно доминируют гидрокарбонаты, в катионном – чаще всего кальций. Вода централизованного водоснабжения соответствует нормам качества по обобщенным показателям и др. (согласно СанПиН 1074-01), исключая барий и железо. Выявлены территории с повышенными ПДК ряда микрокомпонентов (Al, B, Mn, Fe), связанные с притоками подземных вод из области замедленного водообмена. Повышенные концентрации ряда металлов (Cd, Mn, Pb) в хозяйственно-питьевых водах представлены высокотоксичными гидратированными ионами и карбонатными комплексами.

Ключевые слова: *качество питьевых вод, Горный Крым, загрязнение нитратами*

Abstract. This paper presents material on the chemical composition of drinking groundwater in the foothills of Crimea. Hydrocarbonates dominate everywhere in the anionic composition of waters, and calcium most often dominates in the cationic composition. Centralized water supply water meets quality standards for general indicators, etc. (according to SanPiN 1074-01), excluding barium and iron. Areas with increased maximum permissible concentrations for a number of microcomponents (Al, B, Mn, Fe) associated with groundwater inflows from the area of slow water exchange were identified. Increased concentrations of a number of metals (Cd, Mn, Pb) in drinking water are represented by highly toxic hydrated ions and carbonate complexes.

Key words: *quality of drinking water, Mountain Crimea, nitrate pollution*

В Крыму с периодичностью примерно в 4–6 лет чередуются засушливые и водообильные периоды, что отражается на формировании подземного стока. В засушливые периоды население Крыма страдает от нехватки пресной воды, более благоприятны в этом отношении горные районы, но и здесь могут возникать серьезные проблемы с питьевыми водами. Это может быть связано как с естественными условиями, так и с бесхозяйственностью человека. Местное население приспосабливается к природным колебаниям водообеспеченности. Территория Крымского предгорья

характеризуется невысокой антропогенной нагрузкой, которая выражается, главным образом, в сельскохозяйственной деятельности, строительстве гидротехнических сооружений для накопления воды (ставков), которые отчасти нарушают гидрологический и гидрогеологический режимы территории.

Исследования проводились в пределах Второй гряды Крымских гор в бассейне реки Бодрак. Среднегодовая температура здесь около 11,6°C В настоящее время наблюдается тенденция повышения температуры (0,37°/10 лет). Отрицательные аномалии среднемесячных температур воздуха связаны с периодами господства северо-восточных ветров.

Согласно гидрогеологической стратификации выделяются следующие зоны и водоносные горизонты (рис. 1): Четвертичный водоносный горизонт (Q); Лютецкий водоносный горизонт (Pg_{2lt}); Датский водоносный горизонт (Pg_{1d}); Готеривский водоносный горизонт (K_{1(v-h)}); водоносная зона карадагской серии (J_{2b}). Невыветрелые отложения карадагской и таврической серий образуют региональный водоупор.

Подземные воды, развитые на исследуемой территории, в основном относятся к зоне активного водообмена. Трещинно-жильные воды карадагской вулcano-осадочной толщи (из области замедленного водообмена) выявлены на севере села Трудолюбовка. Грунтовые воды бассейна реки Бодрак формируются за счет атмосферных осадков (685 мм – среднее количество осадков на водосборе реки), а также транзитных вод и конденсации. Преобладающими ионами всех природных вод являются преимущественно HCO₃⁻, Ca²⁺.

Установлена естественная ассоциация химических элементов в подземных водах: Ba (2,0-58,2) - В (1,1-10,3) - Ag (3,2-8,6) - Sr (1,6 -8,4) - Sn (3,4-4,9).

На рис. 1 представлен химический состав подземных вод из различных гидрогеологических подразделений.

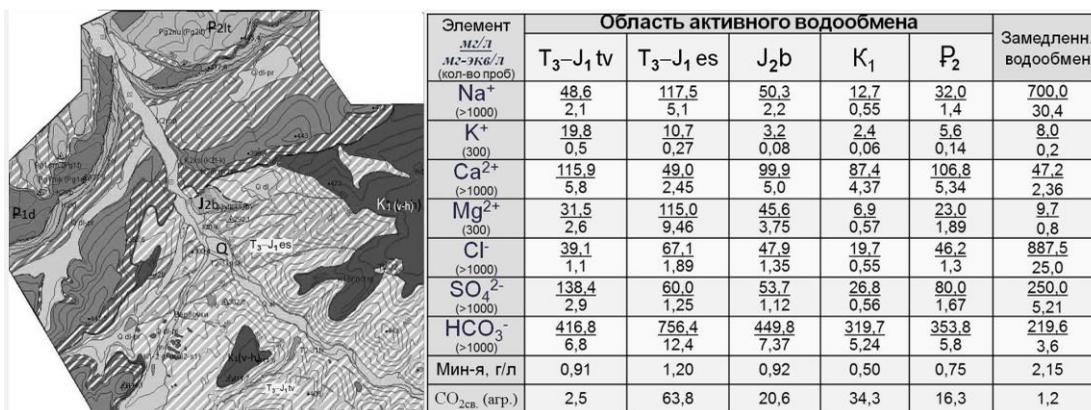


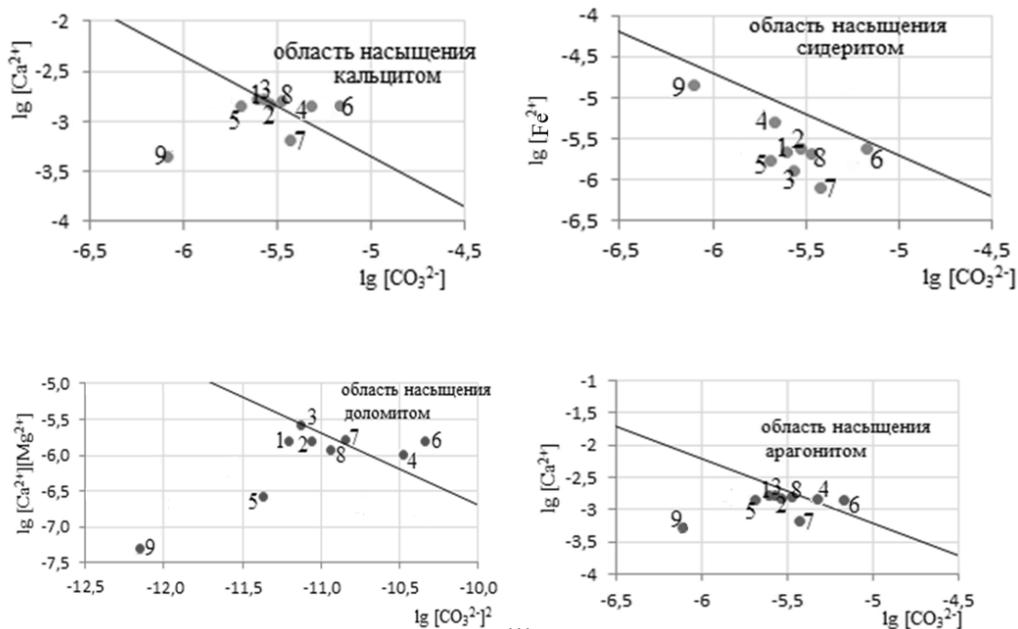
Рис. 1. Химический состав подземных вод различных гидрогеологических подразделений

Летом местное население испытывает серьезные проблемы как с количеством, так и с качеством пресных вод. Вода из частных скважин по ряду параметров (жесткость, минерализация) зачастую не соответствует стандартам качества питьевой воды по СанПиН 1.2.3685-21.

С помощью комплекса PHREEQC Interactive 2.15.0 изучены формы миграции химических элементов и рассчитан баланс карбонатных и сульфатных минералов подземных вод. Большинство изученных вод находятся в равновесии с кальцитом и доломитом (рис. 2).

Централизованные водозаборы обычно строятся у реки, чтобы использовать подрусловые воды. Так устроены водокачки д. Трудолюбовки и п. Скалистое. Жители п. Прохладное получают воду за счет источника Вербочки, расположенного в

Московском овраге. Химическому составу воды централизованных водозаборов присущи сезонные колебания. Летние ливни, несущие большое количество взвешенных частиц, приводят к тому, что вода не соответствует санитарным нормативам по цветности, мутности и пр. В бездождевые жаркие периоды возможны несоответствия в эпидемическом отношении (а также по минерализации и жесткости).



1 - Q (в нижнем течении р. Бодрак); 2 - Q (в среднем течении р. Бодрак); 3 - Q (верховья р. Бодрак); 4 - P₂; 5 - K₁; 6 - J_{2b}; 7 - T₃-J_{1es}; 8 - T₃-J_{1 tv}; 9 - область замедленного водообмена

Рис. 2. Равновесие подземных вод с карбонатными минералами при температуре 25°C

Природной особенностью питьевых вод центрального водоснабжения на территории являются периодические превышения нормативов по барии, ПДК которого 0,7 мг/л (согласно нормативам качества и безопасности воды СанПиН 1.2.3685-21). В отдельные периоды отмечены превышения предельно допустимых концентраций по железу (согласно СанПиН 1.2.3 685-21) с максимальным значением 1,7 мг/л (19.06.2005) что объясняется антропогенным загрязнением. В таблице приведены данные ряда химических элементов в питьевой воде центрального водоснабжения д. Трудолюбовки и отдельно вод, при смешении которых формируются питьевые воды для водоснабжения жителей деревни. В отдельных случаях (при засухе) речную воду также используют в хозяйственно-питьевых целях. В среднем течении р. Бодрак сток обеспечивается главным образом водами Московского оврага (за счет источника Вербочки).

Водозабор д. Трудолюбовки располагается на правом берегу р. Бодрак и представляет собой резервуар (глубиной 4,5 м и площадью 45,5 м²) в аллювиальных отложениях, куда поступает вода из подруслового потока и родников. Непосредственно рядом с водокачкой в левом борту реки Бодрак располагается Эмиров источник, его минимальный дебит варьирует в пределах от 130 до 150 м³/сут. Другой источник воды — Ленинградский овраг (в советские времена здесь была обустроена система сбора родникового стока). Количество воды, поступающей в водозабор из этого оврага, не постоянно, что связано не только с климатическими условиями отдельного года, но и с вечными проблемами системы. В июне 2005 г. дебит равнялся 112 м³/сут., в июле 2010 г. — 79 м³/сут. Реально воды гораздо больше, очень много ее теряется в самом овраге, устье которого всегда подтоплено. Обычно летом воду качают два раза в сутки в течение 1 часа, именно столько воды вмещает накопительный резервуар водозабора. Расход воды из водозабора Вербочки, обеспечивающего питьевыми водами жителей д. Прохладное и

базу МГУ, составляет в зависимости от количества осадков 250–300 м³/сут. Вода пресная жесткая гидрокарбонатная кальциевая.

Существующее централизованное водоснабжение зачастую неспособно удовлетворить потребности населения, вынуждая людей пользоваться собственными колодцами и скважинами, качество воды в которых даже по основным показателям (жесткость и минерализация) не всегда отвечают санитарным нормам СанПиН 1.2.3685-21. В отдельных пробах есть превышения (до 2–3 ПДК) содержаний Fe, B, Li, Mn, Al, Ag, Ba.

На природные особенности вод в пределах населенных пунктов накладывается антропогенное загрязнение (главным образом, нитратное) в связи незащищенностью подземных вод, отсутствием канализации и пр. Устойчивое нитратное загрязнение характерно преимущественно для вод колодцев населенных пунктов (пос. Скалистое, пос. Прохладное и д. Трудюлюбовка). Так, в результате длительного мониторинга подземных вод зоны экзогенной трещиноватости вулканогенно-осадочной толщи выделены области нитратного загрязнения (до 2–4 ПДК) в центре д. Трудюлюбовки. Гипсометрически выше этой части деревни располагается свиноферма.

Изучение соотношения форм миграции тяжелых металлов имеет важное значение при оценке качества природных вод, так, по мнению [4], токсичность определяется не общей концентрацией металла в воде, а состоянием, в котором металл обычно мигрирует. Более токсичной является та форма, которая отвечает большей биологической и химической активности металла. Гидратированные (свободные) ионы металлов обладают большей реакционной способностью и, следовательно, более токсичны.

Среди щелочно-земельных металлов только Mg²⁺ и Ca²⁺ широко используются живыми организмами, остальные относятся к токсичным (Sr, Be, Ba). Эти элементы стремятся замещать кальций и магний в организме. Токсичность растворимых в воде веществ пропорциональна их растворимости. Например, растворимые соли бария (особенно BaCl₂) очень токсичны, нерастворимый BaSO₄ нетоксичен совершенно.

Тяжелые металлы (образованные более массивными атомами), такие как Hg, Pb, Sn, Cd и др. являются токсичными для человека. Установлено, что наибольшей токсичностью обладают их металлорганические соединения (продукты метилирования), образующиеся как биологическим путем с участием определенной группы микроорганизмов, так и вследствие некоторых химических превращений, например, с участием гумусовых веществ, прежде всего фульвокислот. Металлорганические соединения Hg, Pb, Sn обладают даже большей токсичностью, чем их свободные (гидратированные) ионы [4]. Ионы данных металлов токсичны даже в небольших количествах (поскольку связывают белки живых организмов, нарушая их функции).

В результате термодинамического моделирования изучены формы существования химических элементов в подземных водах различных вмещающих отложений. Элементы в химическом составе инфильтрационных вод, циркулирующих в породах разного вещественного состава, различаются как количественно, так и по соотношению миграционных форм (главных анионогенных и катионогенных элементов). Гидрогеохимические условия зоны гипергенеза (рН 7÷7,5; Eh>100, наличие свободного кислорода) определили следующие основные формы существования элементов: свободные анионы (HCO₃⁻, NO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻) и свободные катионы (K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Ba²⁺, Cd²⁺, Fe²⁺, Li⁺, Mn²⁺, Sr²⁺, Zn²⁺), катионные гидрокарбонатные комплексы (CaHCO₃⁺, MgHCO₃⁺, CdHCO₃⁺, FeHCO₃⁺, MnHCO₃⁺, PbHCO₃⁺, SrHCO₃⁺, ZnHCO₃⁺), катионные гидроксидные комплексы (Al(OH)²⁺, Ba(OH)⁺, Fe(OH)²⁺), фосфатные анионные комплексы (H₂PO₄⁻, HPO₄²⁻), нейтральные карбонатные комплексы (MnCO₃, PbCO₃, ZnCO₃), нейтральные сульфатные комплексы (CaSO₄, BaSO₄, MgSO₄), нейтральные фосфатные (MgHPO₄, CaHPO₄), нейтральные гидроксидные комплексы (Al(OH)₃, Cu(OH)₂, Fe(OH)₃).

Таблица. Качество питьевых вод, используемых в централизованном водоснабжении (ПДК согласно СанПиН 1.2.3685-21 в мг/л)

Хим. элемент	Водозабор д.Трудолюбовки	Родник Эмиров	Система Ленинградского оврага	Источники к Вербочки	Водозабор д.Скалистое	ПДК	ЛПВ	Класс опасн.
Na	15,2	16,1	9,7	13,5	23,0	200	с.-т.	2
K	1,2	1,0	0,7	1,7	6,2			
Ca	27,5	36,5	27,8	100,0	79,0			
Mg	16,8	14,6	11,7	6,5	17,0	50	орг.	3
HCO ₃	362,3	390,4	341,6	345,3	317,2			
SO ₄	72,0	10,2	2,9	33,6	115,2	500	орг. прив. к.	4
Cl	22,1	20,2	17,8	21,3	35,4	350	орг. прив. к.	4
Al	0,007	0,0029	0,00473	0,09	0,15	0,2	с.-т.	3
As	0,0003	-	-	0,0002	0,0003	0,01	с.-т.	1
B	0,079	-	-	0,06	0,09	0,5	с.-т.	2
Ba	0,25	0,258	0,496	0,6	0,58	0,7	с.-т.	2
Co	0,000084	0,000088	0,000081	0,0001	0,0002	0,1	с.-т.	2
Cr	0,012	0,0148	0,0116	0,002	0,0028	0,05	с.-т.	2
Cu	0,00075	0,00068	0,00124	0,005	0,005	1	с.-т.	3
Fe	0,169	0,197	0,163	0,087	0,22	0,3	орг.	3
Hg	0,000031	0,000015	0,00025	н.о.	н.о.	0,0005	с.-т.	1
Mn	0,00011	0,00023	0,00018	0,0033	0,005	0,1	орг.	3
Mo	0,00036	0,00039	0,00043	0,00029	0,00096	0,07	с.-т.	3
Nb	0,000016	0,00004	0,000017	н.о.	н.о.	0,01	с.-т.	2
Ni	0,00183	0,00242	0,00177	0,0017	0,0021	0,02	с.-т.	2
Pb	0,00001	<	<	0,0023	0,001	0,01	с.-т.	2
Sb	0,00014	0,00011	0,00016	0,000255	0,00039	0,005	с.-т.	2
Si	2,13	2,14	2,59	5,3	5,6	20	с.-т.	2
Sr	0,897	0,854	1,24	0,988	0,81	7	с.-т.	2
Te	0,000047	0,000023	0,000049	н.о.	н.о.	0,01	с.-т.	2
Ti	0,0342	0,0438	0,0287	0,0023	0,0026	0,1	орг.	3
Tl	<	0,000002	0,000001	<	<	0,0001	с.-т.	1
U	0,00042	0,00038	0,0003	0,0012	0,0012	0,015	с.-т.	1
V	0,00068	0,00066	0,00106	0,0008	0,1	0,1	с.-т.	3
W	0,00086	0,00208	0,00124	н.о.	н.о.	0,05	с.-т.	2
Zn	0,00049	0,00062	0,00129	0,0145	0,02	5	с.-т.	3
*Ж	6,7	6,0	5,6	6,0	5,5	7		
М-я	573,2	551,4	481,9	529,9	522,9	1000		

< – меньше предела обнаружения; *Ж – жесткость воды в мг-экв./л

Повышенные концентрации ряда металлов (Cd, Mn, Pb) в химическом составе подземных вод района, используемых в хозяйственно-питьевых целях, представлены высокотоксичными гидратированными (свободными) ионами и карбонатными комплексами. Барий примерно на 90% мигрирует в виде катионов Ba²⁺, которые являются

токсичным веществом; миграционные формы Al и Fe не токсичны; нитрат-анион высокотоксичен; бор представлен токсичной кислотой H_3BO_3 .

В подземных водах северо-западной части д. Трудолюбовки на участке с притоками солоноватых хлоридно-натриевых вод из области замедленного водообмена выявлены повышенные ПДК (относительно СанПиН 1074-01) ряда микрокомпонентов: Al, B, Mn, Fe.

Список литературы

1. Каюкова Е. П., Филимонова Е. А. Качество пресных подземных вод Горного Крыма (долина р. Бодрак) // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. – 2022. – № 1. – С. 79-88.
2. Каюкова Е.П., Харитоновна Н. А., Филимонова Е. А., Чарыкова М. В. Формирование химического и изотопного состава поверхностных вод открытых водоемов бассейна реки Бодрак (северо-западный склон Крымских гор) // Водные ресурсы. – 2022. – Т. 49, № 4. – С. 492-505.
3. Каюкова Е.П., Юровский Ю.Г., Устюгов Д.Л., Гребнева А.В. Пресные воды Крыма / Геология и недропользование. – 2021. – № 1. – С. 92-103.
4. Линник П.Н., Васильчук Т.А. и др. Сосуществующие формы тяжелых металлов в поверхностных водах Украины и роль органических веществ в их миграции. Методы и объекты химического анализа. – 2007. – Т. 2, – № 2. – С. 130–145.
5. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>. Дата обращения: 15.11.2023.

МИГРАЦИЯ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В КАРСТОВЫХ РАЙОНАХ ПРИКАМЬЯ

Копанцева Е. Н., Килин Ю. А.

*Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь,
elena.korotaeva.88@mail.ru, yuakilin@mail.ru*

Аннотация Проблема миграции нефтяного загрязнения является актуальной для карстовых районов Прикамья. В настоящее время на рассматриваемой территории открыто более 230 месторождений нефти и газа, в эксплуатации находится около 155, половина из которых разрабатывается более 30 лет. На длительно разрабатываемых нефтяных месторождениях, вблизи земной поверхности, в карстовых массивах наблюдается формирование техногенных скоплений жидких и газообразных углеводородов.

Кафедра динамической геологии и гидрогеологии наблюдает за миграцией нефтяного загрязнения в карстовых районах на протяжении длительного периода. В 2018 и 2023 гг. на исследуемой территории было отобрано более 80 проб природных вод, в 30 % которых обнаружено нефтяное загрязнение.

В данной статье приводятся данные по миграции нефтепродуктов с образованием линзы нефтепродуктов в карстовой ловушке в районе Полазенского месторождения нефти, транзите нефтепродуктов подземными водами на территории Иренского карстового района.

Ключевые слова: нефтяное загрязнение, карст, нефтеловушка.

Abstract. The problem of migration of oil pollution is relevant for the karst areas of the Kama region. Currently, more than 230 oil and gas fields have been discovered in the territory under consideration, about 155 are in operation, half of which have been developed for more than 30 years. The formation of man-made accumulations of liquid and gaseous hydrocarbons is observed in long-term oil fields, near the Earth's surface, in karst massifs. The Department of Dynamic Geology and Hydrogeology has been monitoring the migration of oil pollution in karst areas for a long period. In 2018 and 2023, more than 80 samples of natural waters were taken in the study area, in 30% of which oil pollution was detected. This article provides data on the migration of petroleum products with the formation of a lens of petroleum products in a karst trap in the area of the Porozensky oil field, the transit of petroleum products by groundwater in the territory of the Irensky karst region.

Key words: oil pollution, karst, oil trap.