



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ИНФИЛЬТРАЦИОННОГО ПИТАНИЯ ПО ДАННЫМ МЕЖЕННОГО СТОКА ТЕРРИТОРИИ ХВОСТОХРАНИЛИЩА

И.А. ЛЯМИН

ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»
15, ул. Букирева, г. Пермь 614068, Россия

АННОТАЦИЯ

Актуальность исследования заключается в необходимости прогнозирования гидрогеологического режима в процессе строительства и эксплуатации хвостохранилищ. Комплексное изучение строения зоны аэрации и условий формирования инфильтрационного питания впоследствии позволит минимизировать техногенную нагрузку на гидросферу и запроектировать необходимые мероприятия для снижения негативной нагрузки на территорию при антропогенном воздействии.

Цель: определить величину инфильтрационного питания на территории проектируемого хвостохранилища.

Объекты: инфильтрация, слабопроницаемые отложения, речная сеть.

Материалы и методы: изучаемая территория — южная часть Талицкого участка Верхнекамского месторождения солей (Российская Федерация). Инфильтрация, слабопроницаемые отложения, речная сеть. Методы исследования: математическое моделирование, картографирование, гидрометрические работы.

Результаты. Проведенные работы отражают закономерности, характерные для стока малых рек исследуемого региона. Ведущую роль в питании поверхностных водотоков играют талые снеговые воды. Наиболее интенсивное поступление дождевых вод, соответствующее периодам летних и осенних дождевых паводков, на реках исследуемой территории происходило в июле 2017 г. и в октябре—ноябре 2017 г. Некоторые отличия в годовом объеме распределения стока этого водотока, вероятно, определяются изменением характеристик водосборной площади, произошедшем вследствие вырубki лесов и подготовки территории к строительству объектов ГОКа.

Ключевые слова: модуль подземного стока, меженный сток, инфильтрационное питание, норма стока, хвостохранилище

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работы выполнялись по договору ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет».

Для цитирования: Лямин И.А. Определение величины инфильтрационного питания по данным меженного стока территории хвостохранилища. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2022;64(2):80—91. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-2-80-91>

Статья поступила в редакцию 30.06.2021

Принята к публикации 05.09.2022

Опубликована 15.09.2022

DETERMINATION OF THE AMOUNT OF INFILTRATION SUPPLY ACCORDING TO THE DATA OF LOW-WATER RUNOFF IN A TAILING STORAGE AREA

ILYA A. LYAMIN

Perm State National Research University
15, Bukireva str., Perm 614068, Russia

ABSTRACT

Background. The relevance of the study lies in predicting the hydrogeological regime in the process of construction and operation of tailing storage areas. A complex study of the aeration zone and formation conditions of infiltration supply will make it possible to minimize the anthropogenic load on the hydrosphere and to develop measures for a reduction in the negative load on territories imposed to anthropogenic impact.

Aim. To determine the amount of infiltration supply in a designed tailing storage area.

Materials and methods. The studied territory is the southern part of the Talitsky section of the Verkhnekamsk salt deposit (Russian Federation). The studied objects included infiltration processes, weakly-permeable deposits, and drainage network. The applied methods involved mathematical modelling, mapping, and hydrometric works.

Results. The conducted works reflect the regularities characteristic of the drain of small rivers in the region under study. Melted snow waters play a leading role in feeding surface watercourses. The most intensive inflow of rainwater, corresponding to the periods of summer and autumn rain floods, on the rivers of the study area occurred in July 2017 and in October–November 2017. Some differences in the annual volume of the run-off distribution of this water flow are likely to be determined by a change in the characteristics of the water-collecting area occurring as a result of cutting down forests and preparing the territory for construction of a mining and processing plant.

Keywords: underground run-off modulus, low-water run-off, infiltration supply, normal run-off, tailing storage area

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: The work was carried out under the contract Perm State National Research University.

For citation: Lyamin I.A. Determination of the amount of infiltration supply according to the data of low-water runoff in a tailing storage area. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022;64(2):80—91. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-2-80-91>

Manuscript received 30 June 2021

Accepted 5 September 2022

Published 15 September 2022

Введение

Одной из составляющих естественных ресурсов подземных вод в зоне активного водообмена является инфильтрационное питание. Для проектирования хвостохранилищ инфильтрационное питание является важной компонентой для определения водного баланса территории. Оценка инфильтрационного питания является одной из важных составляющих прогнозных гидрогеологических задач. В работе решалась обратная задача путем измерения гидрологического режима речной сети в месте проектируемого сооружения.

Формирование инфильтрационного питания происходит под действием природных факторов, которые на конкретной территории определяют интенсивность атмосферных осадков и питание поверхностных водотоков и водоемов. Главные природные факторы, представлены на рисунке 1.

Разнообразие природных условий определяет неоднородность величины инфильтрационного питания, что указывает на необходимость комплексной оценки условий.

Вопросы оценки инфильтрационного питания подземных вод рассматривались также в работах

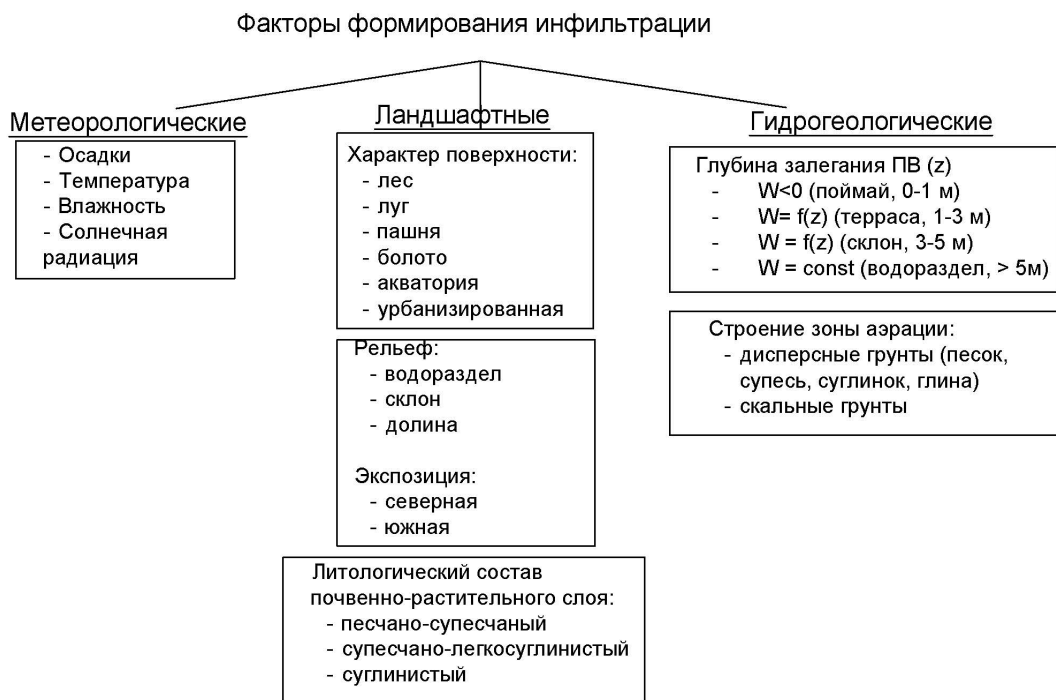


Рис. 1. Основные факторы формирования инфильтрационного питания (Гринеvский, 2010, с дополнениями автора)

Fig. 1. The main factors of the formation of infiltration nutrition (Grinevsky, 2010, with additions by the author)

Н.Н. Биндемана, И.К. Гавича, Г.Н. Каменского, Н.Н. Веригина, С.О. Гринеvского, П.А. Киселева, М.М. Крылова, А.В. Лебедева, В.А. Мироненко, И.С. Пашковского, С.М. Семенова, В.Г. Ткачука, В.М. Шестакова и др.

Методика проведения работ

Для определения инфильтрационного питания был выбран метод меженного стока, предложенный Н.С. Ратнером (1977). Измеренные меженные расходы в створах эпизодических наблюдений умножаются на поправочный коэффициент. Модуль стока M (л/с км²) — количество воды, стекающей с единицы площади водосбора в единицу времени, определяется по формуле:

$$M = Q \times 1000/F, \quad (1)$$

где Q — расход измеренный (м³/сек),

F — площадь водосбора (км²),

1000 — переводной коэффициент.

Годовой объем стока рассчитывается по формуле:

$$W_{\text{год}} = M \times F \times 31,54 \times 10^3, \quad (2)$$

где $W_{\text{год}}$ — годовой объем стока, выраженный в тыс. м³,

M — модуль подземного питания (л/с км²),

F — площадь водосбора (км²).

Для получения данных меженного стока была разработана система мониторинга поверхностных водотоков с учетом гидрологических условий, гидрогеологических особенностей, определяющих места разгрузки подземных вод в долинах рек, существующей и планируемой техногенной нагрузки, которые могут повлиять на качественные и количественные характеристики поверхностных вод в процессе строительства и эксплуатации проектируемого сооружения. Учитывая эти факторы, на исследуемой территории были проведены режимные гидрометрические наблюдения в 15 точках на постоянных водотоках (см. рис. 2).

Водосборные бассейны изученных водотоков расположены в пределах границ проектируемого предприятия, а также в непосредственной близости от них. Схема водосборных бассейнов представлена на рисунке 2.

Сток поверхностных вод в пределах изучаемой территории южной части Талицкого участка Верхнекамского месторождения солей (ВКМС) приурочен к бассейну реки Большая Уньва. Водоток образуется при слиянии рр. Царевой Уньвы и Устинковой Уньвы, ниже по течению принимает левые притоки — руч. Крутик (южная граница промплощадки) и р. Малая Уньва (в 7 км южнее

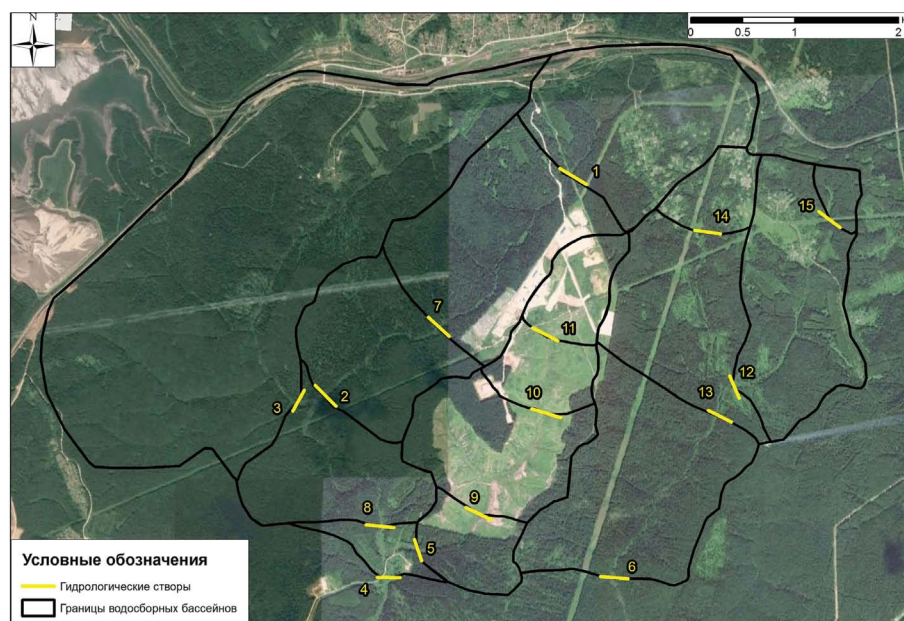


Рис. 2. Схема расположения гидрометрических створов и водосборных бассейнов в пределах территории исследования

Fig. 2. Layout of hydrometric lines and catchment basins within the study area

промплощадки). Все изученные водотоки формируются южнее железной дороги Березники–Яйва. Всего на исследуемых водотоках разбито 15 створов. Гидрометрические створы № 1, 7, 2 относятся к р. Царевна Уньва, № 3 — р. Устиновка Уньва, № 11, 10, 9, 5 — руч. Крутик, № 8, 4 — Большая Уньва, № 12, 13, 6 — р. Малая Уньва (рис. 2).

В соответствии с требованиями нормативных документов, где указывается необходимость проведения наблюдений в наименее благоприятные периоды (межень, паводки и др.), а также с учетом особенностей водного режима малых рек исследуемой территории, характеризующегося слабой изученностью (Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик, 1984; Ресурсы поверхностных вод СССР, 1973), гидрометрические работы проводились ежемесячно (с июня 2017 по май 2018 г.), в период весеннего половодья — еженедельно (апрель — май 2018 г.). Всего на каждом промерном створе произведено 18 измерений расхода воды, которые включали в себя значения ширины и средней глубины водотоков, площадь живого сечения, среднюю скорость и расход воды по каждому створу.

Гидрометрические работы включали в себя выбор, разбивку, закрепление гидростворов; водомерные наблюдения (наблюдения за изменениями уровней воды); измерения скоростей течения и вычисление расходов воды;

измерения поверхностных скоростей и направлений течения поплавками; промеры глубин (с составлением профиля поперечного сечения дна). Измерения скоростей течения на скоростных вертикалях производились гидрометрической вертушкой ГР-21М основным способом. Измерения глубин, скоростей течения и вычисление расхода воды производились в соответствии с требованиями основного руководящего документа Росгидромета (Наставления гидрометеорологическим станциям, 1975, 1978).

Результаты годового цикла измерений расхода воды в р. Царева Уньва представлены на рисунке 3.

Ширина водотока в створе № 1 в течение года варьировала в пределах 0,65—2,00 м, средняя глубина — в пределах 0,04—0,22 м. Минимальные значения расхода воды по данным измерений характерны для февраля (11 л/с), максимальные — для конца апреля — начала мая (87—92 л/с). Среднегодовая величина расхода составила 30,5 л/с.

Результаты наблюдений в створе № 7 показали, что ширина р. Царевой Уньвы в этом пункте в течение года составляет 0,85—2,15 м, средняя глубина — 0,14—0,47 м. Минимальные значения расхода воды по данным измерений характерны для февраля (14 л/с), максимальные — для конца апреля — начала мая (235—264 л/с). Среднегодовая величина расхода составила 69,7 л/с.

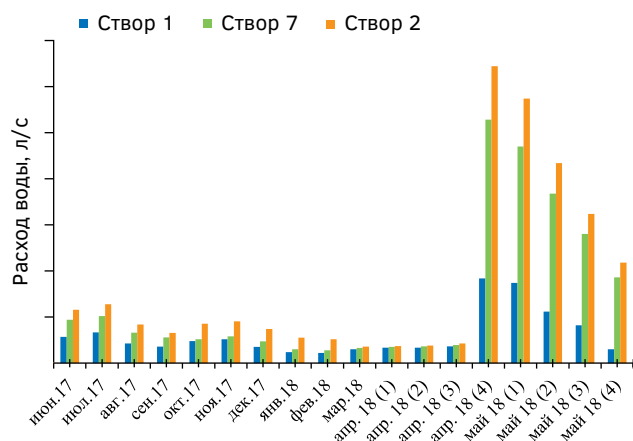


Рис. 3. Измеренные расходы воды р. Царева Уньва
Fig. 3. Measured water flow rates of the Tsareva Unva River



Рис. 4. Измеренные расходы воды р. Устинкова Уньва
Fig. 4. Measured water flow of the Ustynovka, Unva rivers

Ширина р. Царевой Уньвы в ее устье, у слияния с р. Устинковой Уньвой, в периоды наблюдений изменялась от 0,70 до 1,60 м при средней глубине в пределах 0,09—0,45 м. Расход воды варьировал от 18,1 л/с (март 2018 г.) до 322 л/с (последняя неделя апреля 2018 г.) при среднегодовом значении 86,1 л/с.

Результаты годового цикла измерений расхода воды в р. Устинкова Уньва представлены на рисунке 4.

Результаты наблюдений в створе № 3, разбитом вблизи устья р. Устинковой Уньвы, показали, что ширина водотока в этом пункте в течение года составляет 1,30—2,20 м, средняя глубина — 0,07—0,53 м. Минимальные значения расхода воды по данным измерений зафиксированы в начале апреля (26 л/с), максимальные — в конце апреля — начале мая (415—472 л/с). Среднегодовая величина расхода в этом створе составила 147,8 л/с.

Результаты наблюдений за стоком руч. Крутик, проводимых с июня 2017 по май 2018 г., представлены на рисунке 5.

Ширина водотока в створе № 11 в течение года варьировала в пределах 0,35—1,00 м, средняя глубина — в пределах от 0,03 до 0,18 м. Минимальные значения расхода воды по данным измерений характерны для марта (1,9 л/с), максимальные — для конца апреля (93 л/с). Среднегодовая величина расхода составила 15,3 л/с.

Результаты наблюдений в створе № 10 показали, что ширина руч. Крутик в этом пункте в течение года составляет 0,47—1,10 м, средняя глубина — 0,03—0,22 м. Минимальный расход воды зафиксирован в первой половине апреля (6 л/с),

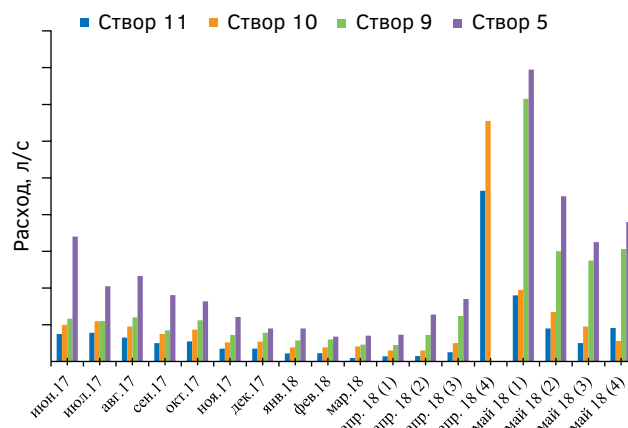


Рис. 5. Измеренные расходы воды руч. Крутик
Fig. 5. Measured water flow in the Krutik creek

максимальный — в конце апреля (131 л/с). Среднегодовая величина расхода составила 21,5 л/с.

Ширина руч. Крутик в створе № 9 в течение года изменялась в пределах 0,60—1,55 м, средняя глубина — в пределах 0,07—0,28 м. Минимальные значения расхода воды по данным измерений характерны для начала апреля (9 л/с), максимальные — для конца апреля — начала мая (свыше 143 л/с). Среднегодовая величина расхода составила 31,7 л/с.

Результаты наблюдений в створе № 5, разбитом вблизи устья руч. Крутик, показали, что ширина водотока в этом пункте в течение года составляет 0,40—1,10 м, средняя глубина — 0,13—0,46 м. Минимальные значения расхода воды по данным измерений зафиксированы в начале апреля (13,6 л/с), максимальные — в конце апреля — начале мая (свыше 159 л/с).

Среднегодовая величина расхода в этом створе составила 147,8 л/с.

Необходимо отметить, что для нижнего течения руч. Крутик в период весеннего половодья характерно наличие широкого разлива воды и выход из берегов. В течение периода наблюдений разлив руч. Крутик наблюдался в последнюю неделю апреля, в связи с чем гидрометрические наблюдения в этот период на створах № 9 и 5 провести не удалось.

Дополнительные гидрологические исследования в долине руч. Крутик были проведены 1 августа 2018 г. Произведены промеры русла и измерение скорости водного потока на створах № 11, 10, 9.

Результаты наблюдений в створе 11 следующие: ширина — 0,8 м, средняя глубина водотока — 0,06 м, расход — 5,3 л/с.

Гидрометрические наблюдения в створе 10 показали следующие результаты: ширина водотока — 1,1 м, средняя глубина — 0,08 м, расход воды составил 10,8 л/с.

Ширина руч. Крутик в створе № 9 составила 1 м, средняя глубина — 0,12 м. Расход воды в створе — 22 л/с.

Результаты наблюдений за стоком р. Большая Уньва, проводимых с июня 2017 по май 2018 г. в створах № 8 и 4, представлены на рисунке 6.

Результаты наблюдений в створе № 8 показали, что ширина р. Большая Уньва в этом пункте в течение года составляет 1,60—4,00 м, средняя глубина — 0,14—0,81 м. Минимальный расход воды зафиксирован в начале апреля (56 л/с), максимальный — в конце апреля (1117 л/с). Среднегодовая величина расхода составила 310,6 л/с.

Гидрометрические наблюдения, проведенные на р. Большая Уньва в створе № 4, являющемся замыкающим для центральной и западной части территории исследования, зафиксировали следующие результаты. Ширина водотока в этом пункте изменяется в пределах 2,00—3,80 м, средняя глубина варьировала в пределах 0,14—0,73 м. Минимальный расход воды зафиксирован в марте (72 л/с), максимальный расход в конце апреля достигал 1652 л/с. Среднегодовая величина расхода составила 440 л/с.

Гидрометрические характеристики верховьев р. Малая Уньва изучались в створах № 14 и 15, на ручьях, при слиянии образующих реку М. Уньву. В указанных точках водотоки характеризуются низкими расходами. В створе № 15 сток зафиксирован только в период половодья (май 2018 г.), в створе № 14 р. М. Уньва полностью перемерзала в период с ноября 2017 по середину апреля 2018 г. Постоянный сток в течение года зафиксирован в створах № 12, 13, 6. Результаты наблюдений за стоком р. Малой Уньвы в этих точках представлены на рисунке 7.

Ширина водотока в створе № 12 в течение года варьировала в пределах 0,40—1,40 м, средняя глубина — в пределах 0,04—0,42 м. Минимальные значения расхода воды по данным измерений характерны для февраля (4,0 л/с), максимальные — для конца апреля (161 л/с). Среднегодовая величина расхода составила 32,6 л/с.

Результаты наблюдений в створе № 13 показали, что ширина р. М. Уньвы в этом пункте в течение года составляет 0,50—35 м, средняя глубина — 0,06—0,45 м. Минимальный расход воды

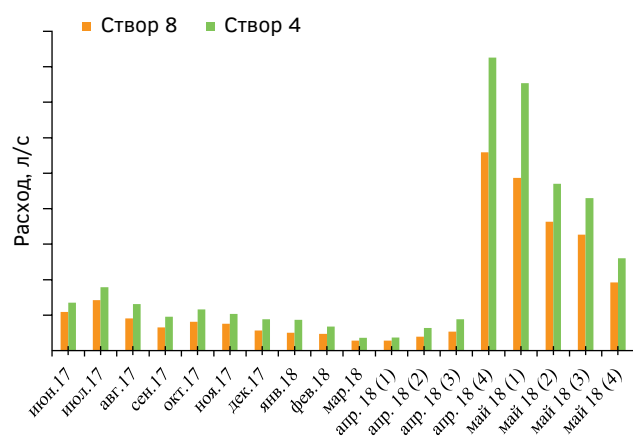


Рис. 6. Измеренные расходы воды р. Большая Уньва

Fig. 6. Measured water flow rates of the Bolshaya Unva river

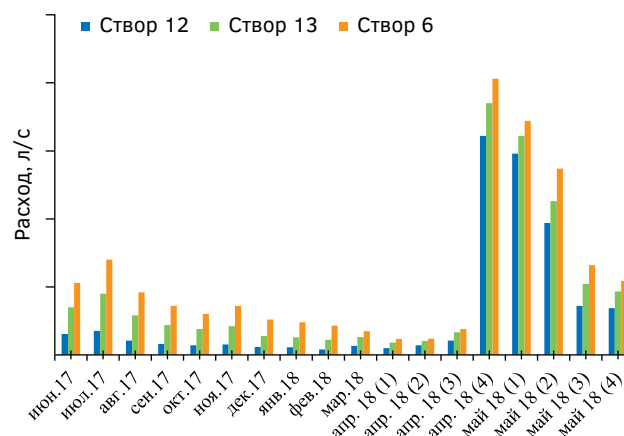


Рис. 7. Измеренные расходы воды р. Малая Уньва

Fig. 7. Measured water flow rates of the Malaya Unva river

зафиксирован в начале апреля (9 л/с), максимальный — в конце апреля (185 л/с). Среднегодовая величина расхода составила 45,3 л/с.

Гидрометрические наблюдения, проведенные на р. Малая Уньва в створе № 6, являющемся замыкающим для восточной части территории исследования, зафиксировали следующие результаты. Ширина водотока в этом пункте изменяется в пределах 0,60—1,60 м, средняя глубина варьировала в пределах 0,10—0,30 м. Минимальный расход воды зафиксирован в первой половине апреля (12 л/с), максимальный расход в конце апреля достигал 203 л/с. Среднегодовая величина расхода составила 57,5 л/с.

Сводная таблица среднегодовых расходов по водотокам представлена в таблице 1.

Расчет гидрологических характеристик исследуемых рек выполнен для естественных условий формирования стока. Расчеты выполнены методами расчетов для неизученных рек (Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик, 1984; Ресурсы поверхностных вод, СССР, 1973, СП 33-101-2003).

В качестве основного метода расчета нормы стока неизученных малых рек использовалась карта нормы стока, построенная по данным о стоке рек с водосборной площадью менее 30 000 км² (Ресурсы поверхностных вод, СССР, 1973, СП 33-101-2003).

Расчет нормы стока для выбранных створов осуществлялся по формуле (3.1):

$$\overline{Q}_{\text{ср}} = q \times A / 1000, \quad (3)$$

$\overline{Q}_{\text{ср}}$ — средний многолетний сток (норма годового стока), м³/с;

q — модуль годового стока, л/с км², определяемый по карте среднего годового стока рек;

A — площадь водосбора, км².

Расчетные значения нормы стока для поверхностных водотоков изучаемой площади приведены в таблице 2. По данным (Ресурсы поверхностных вод, СССР, 1973, СП 33-101-2003) ошибки определения нормы стока приведенным методом для исследуемой территории не превышают 10%.

Параметры кривых обеспеченности определены в соответствии с рекомендациями (Ресурсы поверхностных вод, СССР, 1973, СП 33-101-2003) при отсутствии надежных аналогов: значение коэффициента вариации годового стока определено по карте и составляет для исследуемой территории 0,25; $C_s = 2C_v$.

Далее по результатам гидрологического мониторинга был произведен расчет модуля подземного стока (л/сек/км²), который в последующем был пересчитан в величину инфильтрации (мм/год). Результаты расчетов приведены в таблице 3.

Из рисунка 8 видно, что модуль подземного стока изменяется от 1,98 до 9,51 л/сек/км². Гидрометрический пост № 13 ввиду минимальной площади водосбора в последующем суммируется со створом № 15. Среднее значение по исследуемому участку составило 4,4 л/сек/км².

На рисунке 9 представлена диаграмма, из которой видно, что величина инфильтрационного питания исследуемой территории изменяется в диапазоне 62,50—299,43 мм/год. Минимальные

Таблица 1. Расчетные значения среднегодового расхода
Table 1. Calculated values of the average annual consumption

Наименование водотока	Номер гидрометрического створа	Среднегодовой расход (л/с)
Р. Царева Уньва	1	30,5
	7	69,7
	2	86,1
Р. Устиновка Уньва	3	147,8
руч. Крутик	11	15,3
	10	21,5
	9	31,7
	5	147,8
Р. Большая Уньва	8	310,7
	4	440,0
Р. Малая Уньва	12	32,6
	13	45,3
	6	57,5

Таблица 2. Расчетные значения нормы стока поверхностных водотоков
Table 2. Calculated values of the flow rate of surface watercourses

№ створа	Наименование створа	A, км ²	Q _{ср} , м ³ /с
1	р. Царева Уньва, верховье	2,69	0,026
2	р. Царева Уньва, устье	7,14	0,068
3	р. Устинкова Уньва, устье	9,26	0,088
4	р. Большая Уньва, южная граница	18,41	0,175
5	руч. Крутик, устье	3,77	0,036
6	р. Малая Уньва, южная граница	8,05	0,076
7	р. Царева Уньва, среднее течение	5,35	0,025
8	р. Большая Уньва, выше впадения руч. Крутик	18,04	0,171
9	руч. Крутик, среднее течение	3,06	0,029
10	руч. Крутик, верховья	1,34	0,013
11	руч. Крутик, верховья	0,68	0,006
12	р. Малая Уньва, верховья	2,52	0,024
13	р. Малая Уньва, верховья	5,17	0,049
14	р. Малая Уньва, верховья	0,57	0,005
15	р. Малая Уньва, верховья	0,21	0,002

Таблица 3. Расчет величины инфильтрационного питания по данным меженного стока бассейна речной сети
Table 3. Calculation of the value of the infiltration supply according to the data of the low-water runoff of the river network basin

Номер створа	Наименование гидрометрического створа	Расход воды, м ³ /сек	Расход воды, л/сек	Площадь водосбора, км ²	Модуль подземного стока, л/сек/км ²	Величина инфильтрации, мм/год
1с	р. Царева Уньва, верховье	0,014	14,00	2,69	5,20	163,94
2с	р. Царева Уньва, устье	0,027	27,00	7,14	3,78	119,12
3с	р. Устинкова Уньва, устье	0,044	44,00	9,26	4,75	149,68
4с	р. Большая Уньва, южная граница	0,175	175,00	18,41	9,51	299,43
5с	руч. Крутик, устье	0,017	17,00	3,77	4,51	142,04
6с	р. Малая Уньва, южная граница	0,024	24,00	8,05	2,98	93,91
7с	р. Царева Уньва, среднее течение	0,015	15,00	5,35	2,80	88,32
8с	р. Большая Уньва, выше впадения руч. Крутик	0,098	98,00	18,04	5,43	171,12
9с	руч. Крутик, среднее течение	0,012	12,00	3,06	3,92	123,53
10с	руч. Крутик, верховья	0,009	9,00	1,34	6,72	211,57
11с	руч. Крутик, верховья	0,005	5,00	0,68	7,35	231,62
12с	р. Малая Уньва, верховья	0,005	5,00	2,52	1,98	62,50
13с	р. Малая Уньва, верховья	0,012	12,00	5,17	2,32	73,11
14с	р. Малая Уньва, верховья	0,000	1,00	0,57	4,76	150,00

значения отмечены на створе № 11, наибольшая величина инфильтрации зафиксирована на створе № 3.

Карты модуля подземного стока (рис. 10) и величины инфильтрации (рис. 11) были созданы

автором на основе данных расходов в гидрометрических постах и расчетом модуля подземного стока при помощи специализированного программного обеспечения ArcGIS. Данные карты позволяют наглядно продемонстрировать,

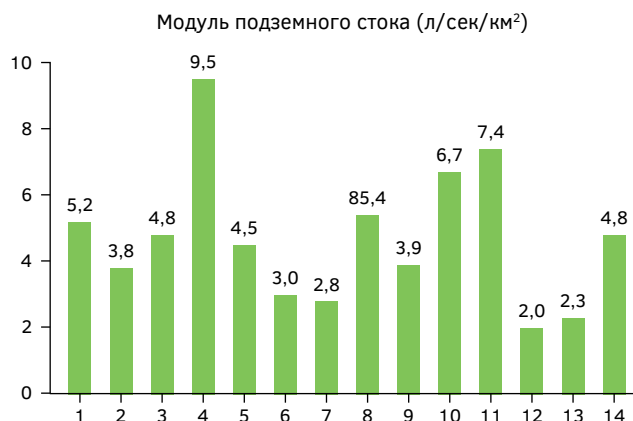


Рис. 8. Диаграмма распределения модуля подземного стока по гидрометрическим створам

Fig. 8. Diagram of the distribution of the underground flow module by hydrometric wells

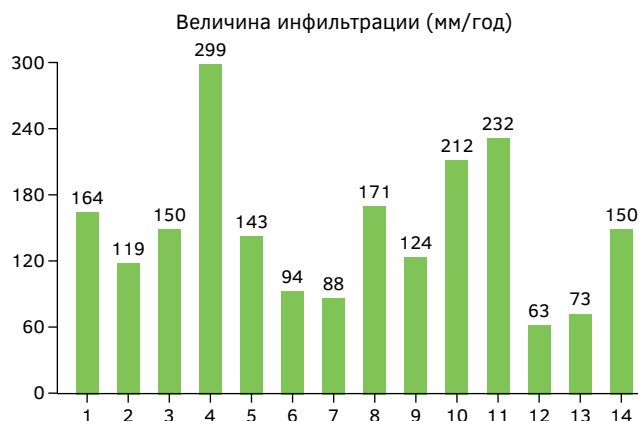


Рис. 9. Диаграмма распределения величины инфильтрации по гидрометрическим створам

Fig. 9. Diagram of the distribution of the infiltration value over hydrometric wells

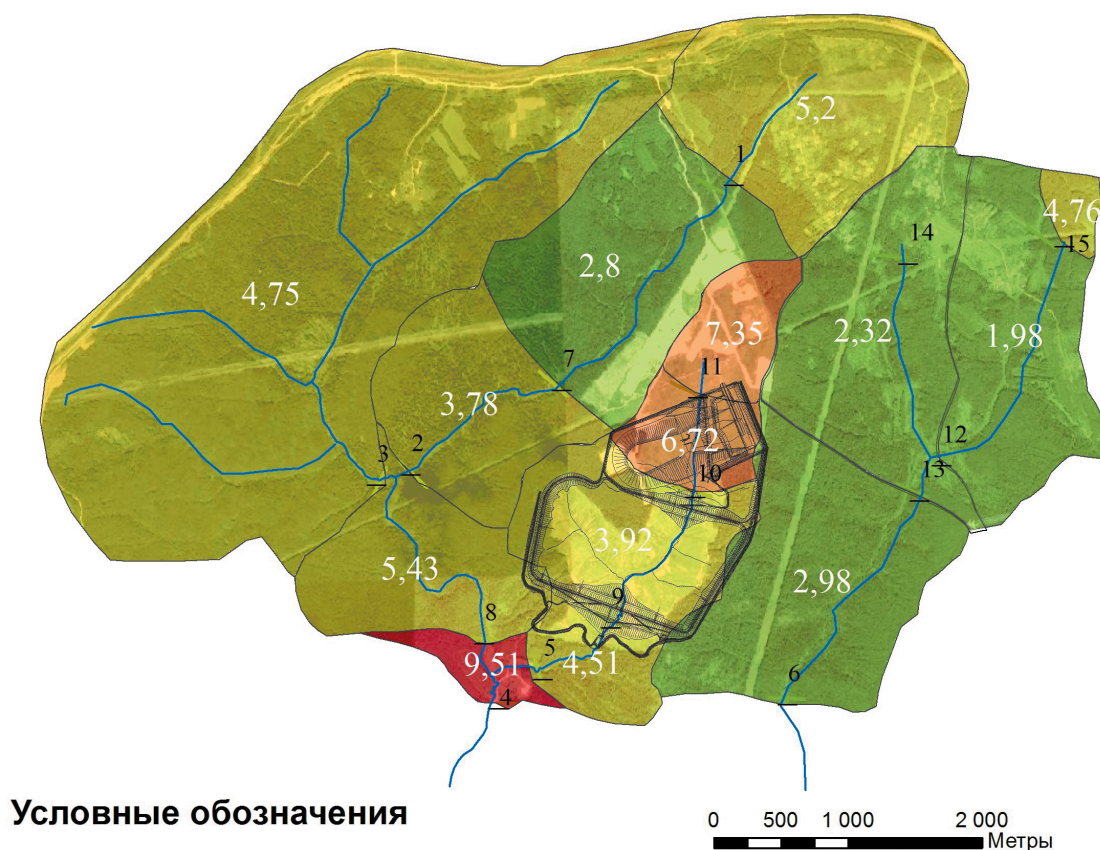


Рис. 10. Карта модуля подземного стока (Масштаб 1:45 000)

Fig. 10. Map of the underground flow module (1: 45 000)

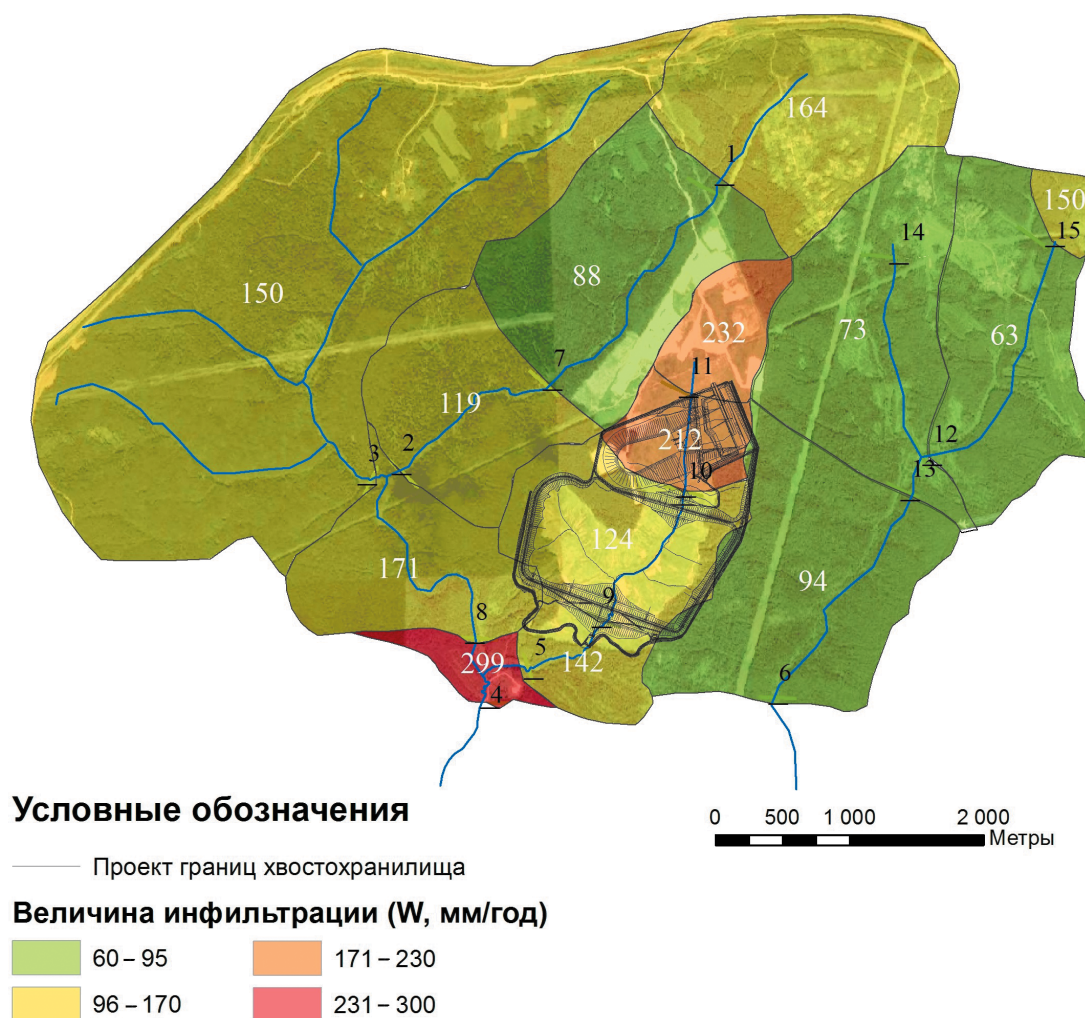


Рис. 11. Карта величины инфильтрации (1:45 000)
Fig. 11. Map of the infiltration rate (1:45 000)

как происходит формирование режима речной сети. С юга, где расположен створ № 4, отмечаются наибольшие значения. Также наибольшие значения отмечаются в районе расположенной территории ГОКа. Вероятнее всего это связано с трансформацией подземного стока ввиду освоения территории.

Выводы

Результаты гидрометрических работ отражают закономерности, характерные для стока малых рек исследуемого региона. Ведущую роль в питании поверхностных водотоков играют талые снеговые воды. Период весеннего половодья по данным наблюдений 2017—2018 гг. продолжался с последней декады апреля до начала третьей декады мая. При этом пиковые значения расхода воды в этот

период характерны для последней недели апреля — первой недели мая.

Наиболее интенсивное поступление дождевых вод, соответствующее периодам летних и осенних дождевых паводков, на реках исследуемой территории происходило в июле 2017 и в октябре — ноябре 2017 г. Эти закономерности характерны для рек Царевой Уньвы, Устинковой Уньвы, Большой Уньвы, Малой Уньвы. Результаты измерений расхода руч. Крутик несколько выбиваются из этого ряда — пик летнего паводка здесь приходится на июнь и август 2017 г. Некоторые отличия в годовом объеме распределения стока этого водотока, вероятно, определяются изменением характеристик водосборной площади, произошедшими вследствие вырубки лесов и подготовки территории к строительству объектов ГОКа.

Наибольшие значения модуля подземного стока (рис. 10) наблюдаются в створах южной части (створы № 4 и 8), где значения составляют 18,04 и 18,41 л/сек/км² соответственно. В северной и центральной частях их значения находятся в интервалах 5,2—9,51 л/сек/км². На флангах значение модуля подземного стока характеризуется средними и низкими показателями. Максимальное значение модуля подземного стока в западной части — 4,75, в восточной — 4,76 л/сек/км².

Значения величины инфильтрации (рис. 11) в южной, северной и центральной частях

отмечаются наибольшие в интервале 123,5—299,4 мм/год, а в западной части преобладают значения инфильтрации 88,3—149,7 мм/год. В восточной части значения величины инфильтрации самые низкие и составляют 62,5—150 мм/год.

Проведенные работы отражают закономерности, характерные для стока малых рек исследуемого региона. Некоторые отличия в годовом объеме распределения стока этого водотока, вероятно, определяются изменением характеристик водосборной площади, произошедшими вследствие вырубки лесов и подготовки территории к строительству объектов ГОКа.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гринеvский С.О., Иванова Я.В., Сафонов А.О.* Оценка естественных ресурсов подземных вод на основе геогидрологического моделирования инфильтрационного питания. Известия вузов, Геология и разведка 2016. № 5. С. 45—52.
2. *Гринеvский С.О.* Оценка инфильтрационного питания и ресурсов подземных вод на основе гидрогеологических моделей: дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. М., 2012. 383 с.
3. *Зекцер И.С.* Подземный сток и ресурсы пресных подземных вод. Современное состояние и перспективы использования в России. М.: Научный мир, 2012. 372 с.
4. *Кудряшов А.И.* Верхнекамское месторождение солей. Пермь: ГИ УРО РАН, 2001.
5. *Лямин И.А.* Подходы к оценке инфильтрационного питания подземных вод // Геология в развивающемся мире: сб. научн. тр. (по материалам X Междунар. научн.-практ. конф. студ., асп. и молодых ученых): в 2 т. / отв. ред. Р.Р. Гильмутдинов; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2017. Т. 2. С. 214.
6. *Лямин И.А.* Оценка фильтрационных свойств и мощности слабопроницаемых отложений ложа хвосто- и шламохранилищ горнодобывающих предприятий // Использование и охрана природных ресурсов в России, 2019. № 3(159). С. 10.
7. Отчет о научно-исследовательской работе «Гидрологические и гидрогеологические исследования с выполнением математической геофильтрационной модели территории промышленной площадки Талицкого ГОКа». Пермь: ПГНИУ. 2018.
8. *Пашковский К.С.* Методы определения инфильтрационного питания по расчетам влагопереноса в зоне аэрации. М.: Изд-во МГУ, 1973. 118 с.
9. *Фетисова Н.Ф.* Оценка уязвимости подземных вод к загрязнению на территории Верхнекамского месторождения солей: дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Nehby, 2012.
10. *Shackelford C.D., Seivick G.W., Eykholt G.R.* Hydraulic conductivity of geosynthetic clay liners to tailings impoundment solutions // Geotextiles and Geomembranes. 2010. No. 28. P. 149—162.
11. *Genuchten M. Th. van.* A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils // Soil Sci. Soc. Amer. J. 1980. Vol. 44. P. 892—898.
12. *Grinevskii S.O., Pozdnyakov S.P.* Principles of regional estimation of infiltration groundwater recharge based on geohydrological models // Maik Nauka/Interperiodica Publishing. 2010. Vol. 37, No. 5. P. 543—557.
13. *Bear K., Cheng A. N.-D.* Modeling Groundwater Flow and Contaminant Transport, Springer Science+Business Media B.V. 2010. P. 68—69.
14. *Jones J.P., Sudicky E.A., McLaren R.G.* Application of a Fully-Integrated Surface-Subsurface Flow Model at the Watershed-Scale: A Case Study, Water Res. Research. 2008. Vol. 44. P. W03407. <https://doi.org/10.1029/2006WR005603>
15. *Wada Y.* Modeling Groundwater Depletion at Regional and Global Scales: Present State and Future Prospects. Surv Geophys. 2016. Vol. 37. P. 419—451. <https://doi.org/10.1007/s10712-015-9347-x>
16. *Fortuna J., Waterhouse J., Chapman, P., et al.* Applying Practical Hydrogeology to Tailings Storage Facility Design and Management. Mine Water Environ. 2021. No. 40. P. 50—62.

REFERENCES

1. Grinevsky S.O., Ivanova Ya.V., Safonov A.O. Assessment of natural groundwater resources based on geohydrological modeling of infiltration nutrition. Izvestiya VUZov, Geology and Exploration. 2016. No. 5. P. 45—52.
2. Grinevsky S.O. Assessment of infiltration nutrition and groundwater resources based on hydrogeological models: Diss. ... Dr. Geological and Mineralogical Sciences. Moscow, 2012. 383 p.
3. Zektser I.S. Underground runoff and fresh ground-

- water resources. The current state and prospects of use in Russia. Moscow: Scientific world, 2012. 372 p.
4. Kudryashov A.I. Verkhnekamskoye salt deposit. Perm: GI UrO RAS, 2001.
 5. Lyamin I.A. Approaches to the assessment of infiltration supply of groundwater // Geology in the developing world: collection of scientific tr. (based on the materials of the X International Scientific Journal. practical conf. of students, asp. and young scientists): in 2 vols. / ed. by R.R. Gilmudinov; Perm State National Research. Un-t. Perm, 2017. Vol. 2. P. 214.
 6. Lyamin I.A. Assessment of filtration properties and capacity of weakly permeable sediments of the bed of tailings and sludge storages of mining enterprises // Use and protection of natural resources in Russia. 2019. No. 3 (159). P. 10.
 7. Report on the research work "Hydrological and hydrogeological studies with the implementation of a mathematical geofiltration model of the territory of the Talitsky GOK industrial site". Perm: PGNIU, 2018.
 8. Pashkovsky K.S. Methods for determining infiltration nutrition by calculations of moisture transfer in the aeration zone. Moscow: Publishing House of Moscow State University, 1973. 118 p.
 9. Fetisova N.F. Assessment of the vulnerability of groundwater to pollution on the territory of the Verkhnekamsk salt deposit: PhD thesis. Nizhny, 2012.
 10. Shackelford C.D., Seville G.W., Eykholt G.R. Hydraulic conductivity of geosynthetic clay liners to tailings impoundment solutions // Geotextiles and Geomembranes. 2010. No. 28. P. 149—162.
 11. Genuchten M. Th. van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils // Soil Sci. Soc. Amer. J. 1980. Vol. 44. P. 892—898.
 12. Grinevskii S.O., Pozdnyakov S.P. Principles of regional estimation of infiltration groundwater recharge based on geohydrological models // Maik Nauka/Interperiodica Publishing. 2010. Vol. 37, No. 5. P. 543—557.
 13. Bear K., Cheng A. N.-D. Modeling Groundwater Flow and Contaminant Transport, Springer Science+Business Media B.V. 2010. P. 68—69.
 14. Jones J.P., Sudicky E.A., McLaren R.G. Application of a Fully-Integrated Surface-Subsurface Flow Model at the Watershed-Scale: A Case Study, Water Res. Research. 2008. Vol. 44. P. W03407. <https://doi.org/10.1029/2006WR005603>
 15. Wada Y. Modeling Groundwater Depletion at Regional and Global Scales: Present State and Future Prospects. Surv Geophys. 2016. Vol. 37. P. 419—451. <https://doi.org/10.1007/s10712-015-9347-x>
 16. Fortuna J., Waterhouse J., Chapman, P., et al. Applying Practical Hydrogeology to Tailings Storage Facility Design and Management. Mine Water Environ. 2021. No. 40. P. 50—62.

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Лямин И.А. — под руководством доцента к.г.-м.н В.В. Фетисова выполнил полевые работы в составе бригады, выполнил обработку данных и составил графический материал, разработал концепцию статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Ilya A. Lyamin — under the guidance of Associate Professor V.V. Fetisov, performed field work as part of a team, performed data processing and compiled graphic material, developed the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to accept take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Лямин Илья Андреевич — ассистент кафедры динамической геологии и гидрогеологии геологического факультета ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет».

15, ул. Букирева, г. Пермь 614068, Россия

e-mail: lyaminilya@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3236-0118>

Ilya A. Lyamin — Assistant of the Department of Dynamic Geology and Hydrogeology of the Geological Faculty, Perm State National Research University.

15, Bukireva str., Perm 614068, Russia

e-mail: lyaminilya@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3236-0118>