



Оригинальная статья / Original article

УДК 556.32(571.62)

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2686-9993-2021-44-2-151-158>



Взаимодействие подземных и поверхностных вод в зоне Хабаровского водного узла

© В.В. Кулаков^а, Р.С. Штенгелов^б, Д.В. Матвеев^с

^{а,с}Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, г. Хабаровск, Россия

^бМосковский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

Резюме: В приведенном исследовании представлены результаты многолетнего мониторинга уровней подземных вод в пределах Хабаровского водного узла в междуречье Амура и Тунгуски на площади Среднеамурского артезианского бассейна в водоносном горизонте плиоцен-нижнечетвертичных аллювиальных отложений. Наблюдения осуществлялись по девяти кустам скважин внешнего и пяти кустам скважин внутреннего мониторинга на площадке Тунгусского водозабора с глубиной трех наблюдательных скважин в кусте от 15 до 50 м. Были уточнены параметры взаимодействия подземных вод с Пемзенской протокой за период 2012–2020 гг. При подпоре подземных вод от протоки в период наводнения среднее значение параметра эквивалентной длины ΔL для верхнего уровня водоносного горизонта составляет 40 м, для среднего уровня – 87 м, а для нижнего уровня – 605 м. Вертикальный водообмен в продуктивной толще в прибрежной зоне протоки характеризуется значениями коэффициента перетока 0,136 сут.⁻¹ между верхним и средним уровнями наблюдений и 0,0116 сут.⁻¹ между средним и нижним уровнями.

Ключевые слова: подземные воды, уровни, Амур, Хабаровский водный узел, Тунгусский водозабор

Для цитирования: Кулаков В.В., Штенгелов Р.С., Матвеев Д.В. Взаимодействие подземных и поверхностных вод в зоне Хабаровского водного узла. *Науки о Земле и недропользование*. 2021. Т. 44. № 2. С. 151–158. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2021-44-2-151-158>

Interaction of ground and surface water in Khabarovsk water node area

© Valeriy V. Kulakov^a, Rostislav S. Shtengelov^b, Dmitry V. Matveenko^c

^{a,c}Institute of Water and Environmental Problems, Far East Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia

^bLomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Abstract: This research presents the results of long-term monitoring of groundwater levels within the Khabarovsk water node in the Amur and Tunguska interfluvium on the area of the Middle Amur artesian basin in the aquifer of Pliocene-Lower Quaternary alluvial deposits. Observations have been carried out on 9 groups of wells of external monitoring and 5 groups of wells of internal monitoring at the Tunguska reservoir, with a depth of 3 observation wells in the group from 15 to 50 m. The interaction parameters of groundwater and the Pempzenskaya channel have been specified for the period from 2012 to 2020. When the channel causes groundwater afflux during the flood, the average value of the equivalent length parameter ΔL is 40 m for the upper level of the aquifer, 87 m – for the middle level, and it is 605 m for the lower level. Vertical water exchange in the productive strata in the shore zone of the channel is characterized by the values of the overflow coefficient of 0.136 days⁻¹ between the upper and middle observation levels and 0.0116 days⁻¹ between the middle and lower levels.

Keywords: ground water, levels, Amur, Khabarovsk water node, Tunguska reservoir

For citation: Kulakov VV, Shtengelov RS, Matveenko DV. Interaction of ground and surface water in Khabarovsk water node area. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie = Earth sciences and subsoil use*. 2021;44(2):151–158. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2021-44-2-151-158>

Введение

В Хабаровском водном узле на междуречье Амура и Тунгуски в районе г. Хабаровска на площади Среднеамурского артезианского бассейна [1–3] в водоносном горизонте плиоцен-нижнечетвертичных аллювиальных отложений (пески, гравий) осуществляется мони-

торинг подземных вод [4–7]. Наблюдения осуществляются по девяти кустам скважин внешнего мониторинга глубиной от 15 до 50 м, расположенных на разном удалении от Тунгусского водозабора подземных вод и русла р. Амур (рис. 1).

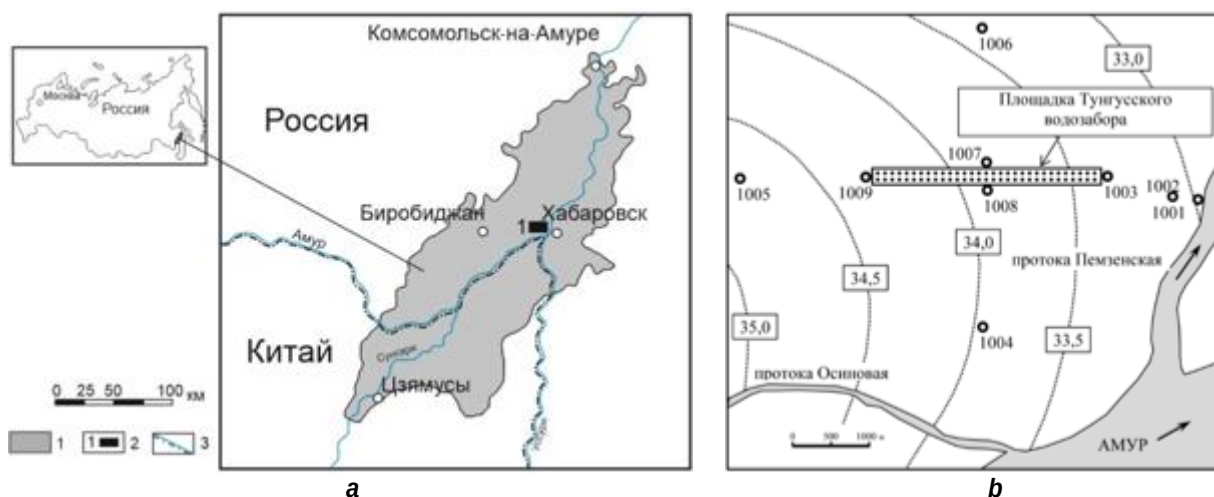


Рис. 1. Хабаровский водный узел в Среднеамурском артезианском бассейне:

a – схема расположения участка исследований [7]:

- 1 – Среднеамурский артезианский бассейн, 2 – Хабаровский водный узел, 3 – государственная граница;
b – схема размещения кустов наблюдательных скважин внешнего мониторинга (1001–1009)
 с гидроизогипсами естественного потока подземных вод, абс. отм., м [4]

Fig. 1. Khabarovsk water node in the Middle Amur artesian basin:

a – location diagram of the research site [7]:

- 1 – Middle Amur artesian basin, 2 – Khabarovsk water node, 3 – state border;
b – layout of groups of observation wells of external monitoring (1001–1009)
 with hydroisohypses of the natural groundwater flow, abs. marked, m [4]

Материалы и методы исследования

В пределах Тунгусского водозабора, состоящего из шестидесяти проектных эксплуатационных скважин, выделено пять секций, в центре которых расположено пять кустов скважин внутреннего мониторинга, оборудованных аналогично скважинам внешнего мониторинга. Расстояние от водозаборного ряда до кустов 1004 (в направлении протоки Осиновой), 1005 (вглубь аллювиальной террасы) и 1006 (в направлении р. Тунгуски) составляет около 2 км и соответствует изолиниям прогнозного понижения уровней на 4–5 м при проектном водоотборе первой очереди в объеме 106 тыс. м³/сут. Кусты 1001 и 1002 расположены по кратчайшему направлению от восточного фланга водозабора по нормали к урезу Пемзенской протоки (см. рис. 1).

Ярусные кусты состоят из трех компактно расположенных наблюдательных скважин, оборудованных на разных уровнях водоносного горизонта с интервалами фильтров длиной от 2 до 6 м (в среднем 3,1 м) на глубинах от 12,78 до 15,89 м (верхний уровень), 28,79–31,9 м (средний уровень) и 40,75–43,86 м (нижний уровень).

На всех четырнадцати кустах скважин мониторинга установлены автоматические датчики уровней и температуры подземных вод фирмы ПОЛИНОМ типа КЕДР-ДМ v2 с фиксацией параметров каждый час и ежесуточной передачей данных через Интернет на компьютер.

Режим подземных вод в районе Тунгусского водозабора в предэксплуатационный и начальный периоды эксплуатации (с июля 2012 г.) свидетельствует о незначительном влиянии достигнутого водоотбора на гидрогеодинамическую обстановку [8–10].

На междуречье Амура и Тунгуски выделяется две зоны: 1 – активного влияния гидрологического режима в протоках Амура – приречный тип режима подземных вод (кусты 1001–1004); 2 – междуречного режима за счет инфильтрационного питания атмосферными осадками (кусты 1005–1009).

Результаты исследования и их обсуждение

В связи с катастрофическим наводнением на Амуре [11–15] определяющее влияние на режим уровней подземных вод в 2013 г. наряду с водоотбором из скважин Тунгусского



водозабора оказал подпертый режим фильтрации. Амплитуда колебания уровней в скважинах куста 1005 достигла 2,97 м (при 0,52 м в 2012 г.), куста 1006 – 2,1 м (при 0,56 м в 2012 г.), кустов 1007 и 1008 – 2,52 м (при 0,46 м в 2012 г.).

В приречной зоне максимальные уровни подземных вод зафиксированы на отметках 36,74–37,73 м при отметке уровня Амура 38,77 м (3–4 сентября 2013 г.). В зоне междуречного режима максимальный уровень зафиксирован на отметке 32 м. На пике паводка столб поверхностных вод Амура над устьем скважин куста 1001 составлял около 3 м.

Уровни подземных вод в скважинах располагались ниже поверхности земли и уровня поверхностных вод, затопивших территорию. Разница в отметках уровней поверхностных и подземных вод изменялась от 1,5 до 6,5 м. Наличие покровных суглинков в кровле водоносного горизонта на территории [16] обусловило затрудненный водообмен между поверхностными и подземными водами, в связи с чем активное влияние паводковых поверхностных вод Амура на подземную гидросферу в пределах Тунгусского водозабора и на прилегающей территории не было отмечено (таблица).

В связи с многолетней изменчивостью гидрометеорологической обстановки, существенно проявляющейся в районе Хабаровского водного узла, выявление развивающейся депрессии напоров подземных вод произведено путем сопоставления годовых синхронных среднемесячного положения уровней [17, 18].

Анализ данных по скважине 1003-3, наиболее близко расположенной к действующему водозабору, не показывает прогрессирующего развития понижения уровня. Уровни подземных вод устойчиво находились на отметках 31–32 м с закономерной реакцией до 33–34 м в осенние периоды паводков на Амуре 2019–2020 гг. По состоянию на конец 2020 г. можно сделать вывод об отсутствии на площади внешнего мониторинга значимого проявления депрессии напоров в зоне Тунгусского месторождения подземных вод.

По синхронным данным наблюдений на трех уровнях в скважинах 1001-1,2,3 и 1002-1,2,3 с учетом реальной пространственной структуры потока подземных вод выполнен детальный анализ вертикальных перетоков в разрезе продуктивной толщи и направленности взаимодействия с протокой Пемзенской (рис. 2). При разгрузке подземных вод в потоку вертикальные перетоки восходящие, а при подпоре от протоки – нисходящие.

Влияние катастрофического наводнения на р. Амур в 2013 г. на подземные воды Хабаровского водного узла [5, 7]

Impact of the catastrophic flood on the Amur river in 2013 on the ground water of the Khabarovsk water node [5, 7]

Пункт наблюдения	Дата максимального уровня	Время от пика наводнения до установления максимального уровня подземных вод, дни	Абсолютная отметка, м		Разность отметок уровней поверхностных и подземных вод
			Точки наблюдения	Уровня природных вод	
Река Амур (г. Хабаровск)	03–04.09.2013		30,67	38,77	
Куст 1001	04.09.2013	Ориентировочно 1	35,76	Не установлена	Не установлена
Куст 1002	06.09.2013	2	38,81	36,74	2,03
Куст 1004	03.09.2013	1–5	38,42	37,73	1,04
Куст 1005	26.11.2013	82	40,25	35,42	3,35
Куст 1006	06.11.2013	63	38,7	32	6,77
Куст 1007	13–15.09.2013	10–12	39,28	32,74	6,03
Куст 1008	13–15.09.2013	10–12	39,01	33,04	5,73
Куст 1009	13–15.09.2013	10–12	39,07	32,72	6,05

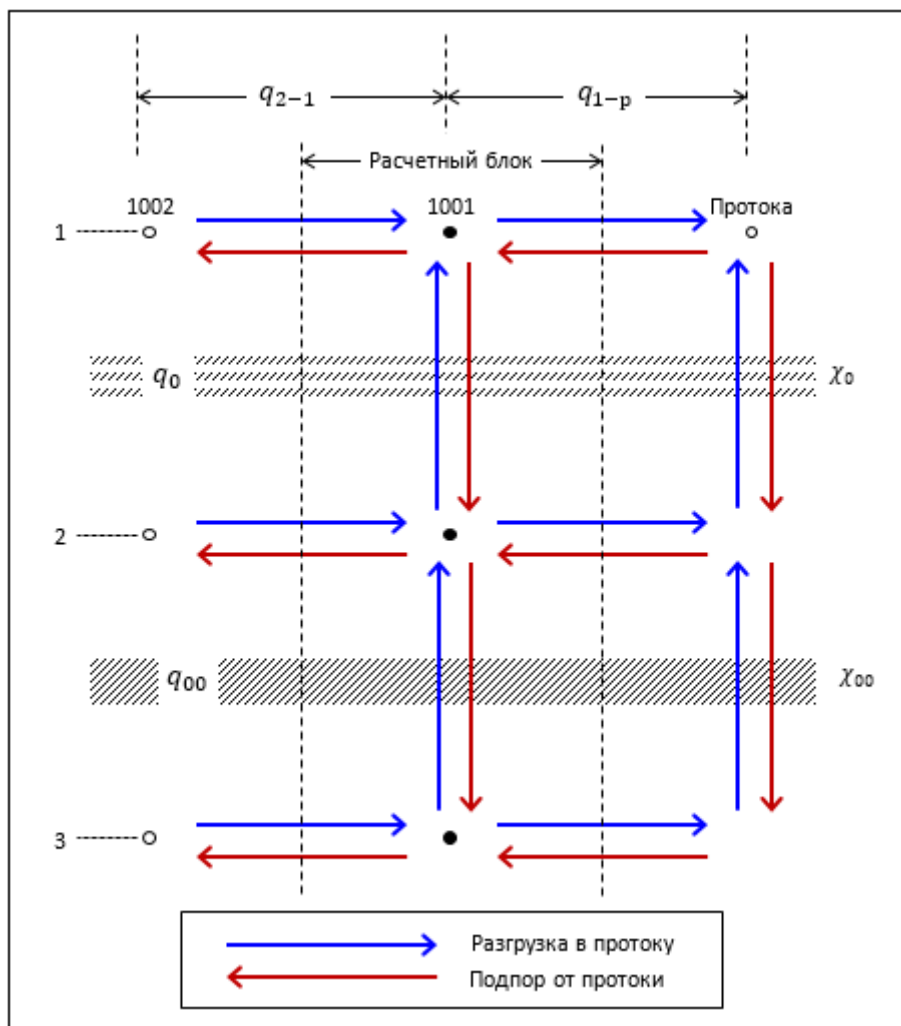


Рис. 2. Конечно-разностная схема взаимодействия подземных вод с протокой
Fig. 2. Finite-difference scheme of groundwater and channel interaction

Выполнена оценка параметра эквивалентной длины ΔL [19, 20] по каждому уровню наблюдений в скважинах 1001 и 1002 за период 2012–2020 г. Количество доступных оценок по состоянию подпора от протоки (1359) более чем в пять раз превышает количество оценок по состоянию разгрузки подземных вод в протоку (251), что позволяет считать эти оценки более достоверными.

Причина явного преобладания «подпорных» состояний состоит в высокой внутригодовой динамичности водного режима гидро-сети и в незначительных величинах инфильтрационного питания подземных вод [21, 22]. При градиенте $5 \cdot 10^{-4}$ и суммарной проводимости 3000–4000 м²/сут. единичный расход латерального потока составляет 1,5–2 м²/сут. В связи с повсеместным распространением покровных глинистых образований поверхность левобережной террасы Амура заболочена.

Инфильтрационное питание водоносного горизонта происходит в затрудненном режиме «дождевания» с вертикальным градиентом порядка единицы и не превышает 10^{-4} м/сут. (30–40 мм/год) [19]. В связи с малыми расходами потока уровни подземных вод в приречной зоне не успевают восстанавливаться при снижении уровня протоки и, напротив, быстро воспринимают подпор при повышении ее уровня.

Заключение

Таким образом, в ходе исследования установлено, что при подпоре подземных вод в период наводнения среднее значение параметра эквивалентной длины ΔL для верхнего уровня водоносного горизонта составляет 40 м, для среднего уровня – 87 м, а для нижнего уровня – 605 м.



Эти оценки дают возможность проверки параметров вертикального строения продуктивной толщи χ_0 , χ_{00} , принятых при подсчете запасов подземных вод месторождения [23]. Значение коэффициента перетока χ_0 [24, 25] между верхним и средним уровнями наблюдений равно 0,136 сут.⁻¹, что удовлетворительно совпадает с принятым по результатам разведки

месторождения (0,15 сут.⁻¹). Расчет для интервала между средним и нижним уровнями дает коэффициент перетока $\chi_{00} = 0,0116$ сут.⁻¹, что примерно вдвое меньше полученного при разведке (0,025 сут.⁻¹) и свидетельствует либо о пропорциональном уменьшении коэффициента фильтрации, либо о возрастании мощности разделяющего слоя.

Список литературы

1. Гидрогеология СССР. Т. 23. Хабаровский край и Амурская область / ред. Н.А. Маринов. М.: Недра, 1971. 514 с.
2. Караванов К.П. Подземные воды как природный ресурс при решении проблемы устойчивого развития Приамурья. Хабаровск: Изд-во ИВЭП ДВО РАН, 1996. 40 с.
3. Zaisheng H., Jayakumar R., Ke L., Hao W., Rui C. Review on transboundary aquifers in People's Republic of China with case study of Heilongjiang-Amur River Basin // *Environmental Geology*. 2008. Vol. 54. P. 1411–1422. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0922-4>
4. Кулаков В.В., Андреева Д.В., Козырев Р.С., Матвеев Д.В., Штенгелов Р.С. Мониторинг естественного и нарушенного режима подземных вод в Амуро-Тунгусском междуречье // Регионы нового освоения: естественные сукцессии и антропогенная трансформация природных комплексов: материалы конф. с междунар. уч. Хабаровск: Изд-во ИВЭП ДВО РАН, 2017. С. 165–168.
5. Кулаков В.В., Медведева Н.И. Влияние катастрофического наводнения на уровень подземных вод Амуро-Тунгусского междуречья // Водные и экологические проблемы, преобразование экосистем в условиях глобального изменения климата: материалы Всерос. конф. Хабаровск: Изд-во ИВЭП ДВО РАН, 2014. С. 101–103.
6. Кулаков В.В., Тесля В.Г., Штенгелов Р.С. Тунгусское месторождение подземных вод Хабаровского водного узла // Вода: экология и технология: сб. докл. 7-го Междунар. конгресса ЭКВАТЭК-2006. Ч. 1. М., 2006. С. 255–256.
7. Кулаков В.В., Штенгелов Р.С. Мониторинг уровней подземных вод междуречья Амура и Тунгуски // Вестник Северо-Восточного научного центра Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2019. № 3. С. 63–70. <https://doi.org/10.34078/1814-0998-2019-3-63-70>
8. Ковалевский В.С. Влияние изменений гидрогеологических условий на окружающую среду. М.: Наука, 1994. 138 с.
9. Коноплянец А.А. Изучение, прогноз и картирование режима подземных вод. М.: Недра, 1979. 193 с.
10. Боровский Б.В., Руденко Ю.Ф., Шестопалов В.М. Типизация и принципы изучения месторождений пресных вод с учетом влияния их эксплуатации на окружающую среду. Киев: Изд-во ИГН, 1986. 49 с.
11. Ким В.И., Махинов А.Н. Гидрологический режим р. Амур в пределах Хабаровского водного узла // Фундаментальные проблемы изучения и использования воды и водных ресурсов: материалы науч. конф. Иркутск, 2005. С. 92–94.
12. Махинов А.Н., Ким В.И., Воронов Б.А. Наводнение в бассейне Амура 2013 года: причины и последствия // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2014. № 2. С. 5–14.
13. Бойкова К.Г. Наводнения на реках Амурского бассейна // Вопросы географии Дальнего Востока: сб. стат. / науч. ред. и сост. А.В. Иванов. Вып. 20. Хабаровск: Изд-во Приамурского географического общества, 1963. С. 192–259.
14. Водные ресурсы Хабаровского края: монография / ред. К.П. Караванов, А.М. Мордовин, Н.А. Нарбут. Хабаровск: Изд-во ДВО АН СССР, 1990. 173 с.
15. Мордовин А.М. Водные ресурсы и водообеспеченность населения // Водные ресурсы Хабаровского края: монография / ред. К.П. Караванов, А.М. Мордовин, Н.А. Нарбут. Хабаровск: Изд-во ДВО АН СССР, 1990. С. 39–59.
16. Kulakov V.V., Fisher N.K., Kondratieva L.M., Grischek T. Riverbank filtration as an alternative to surface water abstraction for safe drinking water supply to the city of Khabarovsk, Russia // Riverbank filtration for water security in desert countries. NATO science for peace and security. Series C: Environmental security / ed. M. Shamrukh. Dordrecht: Springer, 2011. P. 281–298.
17. Ковалевский В.С. Исследования режима подземных вод в связи с их эксплуатацией. М.: Недра, 1986. 198 с.
18. De Wiest R. Replenishment of aquifers intersected by streams // *Journal of the Hydraulics Division*. 1963. Vol. 89. Iss. 6. P. 165–191. <https://doi.org/10.1061/JYCEAJ.0000953>
19. Шестаков В.М., Поздняков С.П. Геогидрология. М.: Академкнига, 2003. 176 с.
20. Бочев Ф.М., Гармонов И.В., Лебедев А.В., Шестаков В.М. Основы гидрогеологических расчетов. М.: Недра, 1969. 368 с.
21. Гриневский С.О. Гидрогеодинамическое моделирование взаимодействия подземных и поверхностных вод: монография. М.: ИНФРА-М, 2012. 152 с.
22. Шестаков В.М., Невечеря И.К., Авилина И.В. Методика оценки ресурсов подземных вод на участках береговых водозаборов: монография. М.: КДУ, 2009. 192 с.
23. Кулаков В.В., Штенгелов Р.С. Оценка запасов пресных подземных вод в речных долинах Приамурья // Подземные воды востока России: материалы



Всерос. совещ. по подземным водам Востока России с междунар. уч. Тюмень, 2009. С. 254–257.

24. Pickens J.F., Grisak G.E. Scale-dependent dispersion in a stratified granular aquifer // *Water Resources Research*. 1981. Vol. 17. Iss. 4. P. 1191–1211. <https://doi.org/10.1029/WR017i004p01191>

25. Goode D.J. Particle velocity interpolation in block-centered finite difference groundwater flow models // *Water Resources Research*. 1990. Vol. 26. Iss. 5. P. 925–940. <https://doi.org/10.1029/WR026i005p00925>

References

1. Marinov NA. *Hydrogeology of the USSR*. Vol. 23. Khabarovsk Territory and Amur Region. Moscow: Nedra; 1971. 514 p. (In Russ.)

2. Karavanov KP. *Groundwater as a natural resource when solving the problem of Amur region sustainable development*. Khabarovsk: Institute of Water and Environmental Problems of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences; 1996. 40 p. (In Russ.)

3. Zaisheng H, Jayakumar R, Ke L, Hao W, Rui C. Review on transboundary aquifers in People's Republic of China with case study of Heilongjiang-Amur River Basin. *Environmental Geology*. 2008;54:1411–1422. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0922-4>

4. Kulakov VV, Andreeva DV, Kozyrev RS, Matveenkov DV, Shtengelov RS. Monitoring of the natural and disturbed regime of groundwater in the Amur-Tungus interfluve. In: *Regiony novogo osvoeniya: estestvennye suksessii i antropogennaya transformatsiya prirodnikh kompleksov: materialy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem = Regions of new development: natural successions and anthropogenic transformation of natural complexes: materials of the conference with international participation*. Khabarovsk: Institute of Water and Environmental Problems of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences; 2017. p.165–168. (In Russ.)

5. Kulakov VV, Medvedeva NI. Influence of catastrophic flooding on the level of underground water of the Amur-Tunguska interfluve. In: *Vodnye i ekologicheskie problemy, preobrazovanie ekosistem v usloviyakh global'nogo izmeneniya klimata: materialy Vserossiiskoi konferentsii = Water and ecological problems, ecosystem transformation in the context of global climate change: Proceedings of the All-Russian conference*. Khabarovsk: Institute of Water and Environmental Problems of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences; 2014. p.101–103. (In Russ.)

6. Kulakov VV, Teslya VG, Shtengelov RS. Tunguska underground water deposit of the Khabarovsk water node. In: *Voda: ekologiya i tekhnologiya: sbornik dokladov 7-go Mezhdunarodnogo kongressa EKVATEK -2006 = Water: ecology and technology: collected reports of the 7th International Congress EKVATEK-2006*. Part 1. Moscow; 2006. p.255–256. (In Russ.)

7. Kulakov VV, Shtengelov RS. Monitoring of groundwater levels in the Amur-Tunguska interfluve. *Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo tsentra Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiiskoi akademii nauk = Bulletin of the North-East Scientific Center, Russia Academy of Sciences Far East Branch*. 2019;3:63–70. (In Russ.) <https://doi.org/10.34078/1814-0998-2019-3-63-70>

8. Kovalevskii VS. *The effect of changes in hydrogeological conditions on environment*. Moscow: Nauka; 1994. 138 p. (In Russ.)

9. Konoplyantsev AA. *Study, forecast and mapping of groundwater regime*. Moscow: Nedra; 1979. 193 p. (In Russ.)

10. Borevskii BV, Rudenko YuF, Shestopalov VM. *Typification and principles of studying fresh water deposits considering the environmental impact of their operation*. Kiev: Institute of Geological Sciences; 1986. 49 p. (In Russ.)

11. Kim VI, Makhinov AN. Hydrological regime of the river Amur within the Khabarovsk water node. In: *Fundamental'nye problemy izucheniya i ispol'zovaniya vody i vodnykh resursov: materialy nauchnoi konferentsii = Fundamental problems of water and water resources study and use: materials of the scientific conference*. Irkutsk; 2005. p.92–94. (In Russ.)

12. Makhinov AN, Kim VI, Voronov BA. Floods in the Amur Basin in 2013: causes and consequences. *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiiskoi akademii nauk = Vestnik of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences*. 2014;2:5–14. (In Russ.)

13. Boikova KG. Floods on the Amur basin rivers. In: Ivanov AV (ed.). *Voprosy geografii Dal'nego Vostoka = Issues of Far East Geography*. Iss. 20. Khabarovsk: Amur Geographical Society; 1963. p.192–259. (In Russ.)

14. Karavanov KP, Mordovin AM, Narbut NA. *Water resources of the Khabarovsk Territory*. Khabarovsk: Far East Branch of the USSR Academy of Sciences; 1990. 173 p. (In Russ.)

15. Mordovin AM. Water resources and population water supply. In: Karavanov KP, Mordovin AM, Narbut NA. (eds.). *Vodnye resursy Khabarovskogo kraia = Water resources of the Khabarovsk Territory*. Khabarovsk: Far East Branch of the USSR Academy of Sciences; 1990. p.39–59. (In Russ.)

16. Kulakov VV, Fisher NK, Kondratieva LM, Grischek T. Riverbank filtration as an alternative to surface water abstraction for safe drinking water supply to the city of Khabarovsk, Russia. In: Shamruk M (ed.). *Riverbank filtration for water security in desert countries. NATO science for peace and security. Series C: environmental security*. Dordrecht: Springer; 2011. p.281–298.

17. Kovalevskii VS. *Studying groundwaters regime due to their exploitation*. Moscow: Nedra; 1986. 198 p. (In Russ.)

18. De Wiest R. Replenishment of aquifers intersected by streams. *Journal of the Hydraulics Division*. 1963; 89(6):165–191. <https://doi.org/10.1061/JYCEAJ.0000953>

19. Shestakov VM, Pozdnyakov SP. *Geohydrology*. Moscow: Akademkniga; 2003. 176 p. (In Russ.)

20. Bochever FM, Garmonov IV, Lebedev AV, Shestakov VM. *Basics of hydrogeological calculations*. Moscow: Nedra; 1969. 368 p. (In Russ.)



21. Grinevskii SO. *Hydrogeodynamic modeling of ground and surface waters interaction*. Moscow: INFRA-M; 2012. 152 p. (In Russ.)

22. Shestakov VM, Nevecherya IK, Avilina IV. *Assessment methodology of groundwater resources at shore water intakes*. Moscow: KDU; 2009. 192 p. (In Russ.)

23. Kulakov VV, Shtengelov RS. Assessment of fresh groundwater reserves in the river valleys of the Amur region river valleys. In: *Podzemnye vody vostoka Rossii: materialy Vserossiiskogo soveshchaniya po podzemnym vodam Vostoka Rossii s mezhdunarodnym uchastiem = Under-ground waters of the East of Russia: Proceedings of All-*

Russian meeting on groundwater of the East of Russia with international participation. Tyumen; 2009. p.254–257. (In Russ.)

24. Pickens JF, Grisak GE. Scale-dependent dispersion in a stratified granular aquifer. *Water Resources Research*. 1981;17(4):1191–1211. <https://doi.org/10.1029/WR017i004p01191>

25. Goode DJ. Particle velocity interpolation in block-centered finite difference groundwater flow models. *Water Resources Research*. 1990;26(5):925–940. <https://doi.org/10.1029/WR026i005p00925>

Сведения об авторах / Information about the authors



Кулаков Валерий Викторович,

доктор геолого-минералогических наук,
главный научный сотрудник Лаборатории гидрологии и гидрогеологии,
Институт водных и экологических проблем ДВО РАН,
680000, г. Хабаровск, ул. Дикопольцева, 56, Россия,
✉ e-mail: vvkulakov@mail.ru

Valeriy V. Kulakov,

Dr. Sci. (Geol. & Mineral.),
Chief Researcher of the Laboratory of Hydrology and Hydrogeology,
Institute of Water and Environmental Problems,
Far East Branch of the Russian Academy of Sciences,
56 Dikopoltsev St., Khabarovsk 680000, Russia,
✉ e-mail: vvkulakov@mail.ru



Штенгелов Ростислав Степанович,

доктор геолого-минералогических наук,
профессор кафедры гидрогеологии,
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
119991, г. Москва, Ленинские горы, 1, Россия,
e-mail: rssteng@mail.ru

Rostislav S. Shtengelov,

Dr. Sci. (Geol. & Mineral.),
Professor of the Department of Hydrogeology,
Lomonosov Moscow State University,
1 Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia,
e-mail: rssteng@mail.ru



Матвеевко Дмитрий Владимирович,

младший научный сотрудник Лаборатории гидрологии и гидрогеологии,
Институт водных и экологических проблем ДВО РАН,
680000, г. Хабаровск, ул. Дикопольцева, 56, Россия,
e-mail: matveenkodv@yandex.ru

Dmitry V. Matveenko,

Junior Researcher of the Laboratory of Hydrology and Hydrogeology,
Institute of Water and Environmental Problems,
Far East Branch of the Russian Academy of Sciences,
56 Dikopoltsev St., Khabarovsk 680000, Russia,
e-mail: matveenkodv@yandex.ru

Заявленный вклад авторов / Contribution of the authors

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
The authors contributed equally to this article.

**Конфликт интересов / Conflict of interests**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.
The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье / Information about the article

Статья поступила в редакцию 05.03.2021; одобрена после рецензирования 12.04.2021; принята к публикации 14.05.2021.

The article was submitted 05.03.2021; approved after reviewing 12.04.2021; accepted for publication 14.05.2021.