УДК 556.3 (571.621)

МОНИТОРИНГ УРОВНЕЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД МЕЖДУРЕЧЬЯ АМУРА И ТУНГУСКИ

В. В. Кулаков¹, Р. С. Штенгелов²

¹ФГБУН Институт водных и экологических проблем ДВО РАН,
г. Хабаровск

E-mail: vvkulakov@mail.ru

²ФГБОУВО «Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова», г. Москва

E-mail: rssteng@mail.ru

Приводятся результаты многолетнего мониторинга уровней подземных вод на Тунгусском месторождении в пределах Среднеамурского артезианского бассейна в междуречье Амура и Тунгуски. Доказана санитарно-защитная роль покровных отложений в геологическом разрезе чехла артезианского бассейна при организации зон санитарной охраны водозабора. Корректировкой гидрогеодинамической модели Тунгусского месторождения показано, что при современном уровне водоотбора подземных вод из скважин Тунгусского водозабора на основной части воронки депрессии понижение уровня не превышает 0.2–0.5 м.

Ключевые слова: подземные воды, уровни, мониторинг, Амур, Тунгуска, Тунгусский водозабор.

DOI: 10.34078/1814-0998-2019-3-63-70

ВВЕДЕНИЕ

Основным источником питьевого водоснабжения г. Хабаровска являются поверхностные воды р. Амур. В 2005 г., после техногенной химической катастрофы в Китае в бассейне р. Сунгари – притоке Амура, еще раз подтвердившей серьезность дезорганизации водоснабжения, было констатировано, что риски сохранения обычной и даже усиленной углеванием водоподготовки поверхностных вод значительно выше по сравнению с добычей и очисткой некондиционных подземных вод для питьевых нужд. Поэтому на Тунгусском подземном водозаборе, расположенном в междуречье Амура и Тунгуски, для подготовки питьевых вод была предложена апробированная специальными исследованиями на Тунгусском месторождении технология водоподготовки (обезжелезивания и деманганации) непосредственно в водоносном горизонте (Kulakov et al., 2011; Кулаков и др., 2012; Кулаков, 2013а).

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является Тунгусское месторождение подземных вод, разведанное для водоснабжения г. Хабаровска в 2000 г.

Месторождение расположено в центральной части Среднеамурского артезианского бассейна в междуречье Амура и Тунгуски в 10 км западнее г. Хабаровска (Кулаков, 2006; Kulakov et al., 2011; Кулаков, 2013б; Фишер и др., 2014), (рис. 1).

Поверхность равнины в междуречье заболочена, очень ровная, практически горизонтальная с перепадами высот до 0.5 м. Абсолютные отметки поверхности колеблются от 39 до 40 м. Гидрографическая сеть участка включает на севере основную акваторию р. Тунгуска с многочисленными старицами и протоками, на востоке – протоку Пемзенскую р. Амур, на юге – основную акваторию р. Амур с мелкими заливами и протоками, периодически функционирующими летом. В период катастрофического наводнения в 2013 г. территория участка была затоплена (Кулаков, Медведева, 2014).

Основной водоносный горизонт в плиоцен-четвертичных аллювиальных отложениях приамурской свиты – субнапорный, сложен песками с гравием и галькой (Кулаков и др., 2006; Кулаков, 2013б). Мощность водоносного горизонта колеблется в пределах 40–50 м. С поверхности он перекрыт покровными суглинками и глинами мощностью 5–10 м и более, а подстилается миоценовыми угленосными отложениями ушумунской свиты.

Рис. 1. Схема расположения участка исследований: 1 – Средне-амурский артезианский бассейн; 2 – междуречье Амура и Тунгуски; 3 – государственная граница

Fig. 1. Research area location: 1 – Middle Amur artesian basin; 2 – Amur-Tunguska interfluvium; 3 – state border

Строящийся Тунгусский водозабор проектирован в виде двух параллельных рядов из 60 водозаборных скважин (5 секций) с шагом 100 м; общая длина водозаборного участка около 3 км. Первая секция, состоящая из 12 скважин на восточном фланге водозаборного ряда, введена в эксплуатацию в июле 2012 г.

Рис. 2. Схема размещения наблюдательных скважин внешнего мониторинга (№ 1001–1009) с гидроизогипсами естественного потока подземных вод (абс. отм., м)

Fig. 2. Location of observation wells for external monitoring (No. 1001–1009) with hydroisohypses of the natural groundwater flow (absolute height, m)

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

На площади Тунгусского месторождения с 2011 г. осуществляется мониторинг за подземными водами эксплуатируемого водоносного горизонта плиоцен-четвертичных отложений (Кулаков, Штенгелов, 2009, 2015; Kulakov et al., 2011; Кулаков, 2013б; Кулаков, Медведева, 2014; Кулаков и др., 2017). Основными задачами мониторинга предусмотрены:

выявление и оценка действующих природных режимобразующих факторов;

пространственно-временное прослеживание развития депрессионной воронки в период эксплуатации водозабора;

оценка защитной роли покровных суглинков и глин от поверхностных загрязнений подземных вод;

оценка (на основе многолетних режимных наблюдений с многократной повторностью) гидрогеодинамических параметров эксплуатируемого горизонта;

уточнение численной гидрогеодинамической модели месторождения, разработанной в 2000 г. для подсчета запасов подземных вод месторождения.

Система наблюдений организована в форме двух блоков – внешнего и внутреннего мониторинга.

Внешний мониторинг осуществляется на 9-ярусных кустах наблюдательных скважин (№ 1001–1009), расположенных на разном удалении от эксплуатационных скважин, русла Пемзенской протоки и р. Амур (рис. 2). В каждом кусте сооружено по три компактно расположенные наблюдательные скважины (№ 1001–1, 1001–2 и 1001–3 и т. д.) глубиной до 50 м, оборудованные фильтровым интервалом на глубине 15, 30 и 45 м соответственно.

Расстояние от водозаборного ряда до кустов № 1004 (в направлении протоки Осиновой), № 1005 (в глубь аллювиальной террасы, навстречу естественному потоку) и № 1006 (в направлении р. Тунгуска) составляет около 2 км. Кусты № 1001 и 1002 расположены по кратчайшему направлению от восточного фланга водозаборного ряда к урзу Пемзенской протоки на расстоянии от него 120 и 435 м соответственно. Кусты № 1003, 1007, 1008 и 1009 расположены по периметру площадки водозаборного ряда на восточ-

ном, северном, южном и западном флангах соответственно.

Скважины внешнего мониторинга оборудованы автоматическими датчиками замера уровней и температуры подземных вод фирмы ПОЛИНОМ типа КЕДР-ДМv2 с фиксацией параметров каждый час и ежесуточной передачей данных наблюдений через интернет на компьютер.

Кроме того, оборудован комплекс наблюдательных скважин специального опробования вблизи от эксплуатационных скважин Тунгусского водозабора для мониторинга биогеохимических процессов при внутрипластовой водоподготовке. В блоке внутреннего мониторинга на площадке Тунгусского водозабора пробурено 38 наблюдательных скважин.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Систематический анализ непрерывно поступающей информации по системе мониторинга позволяет к настоящему времени сделать ряд обобщающих выводов и количественных параметрических оценок.

Режимобразующая роль *гидрологического фактора* проявляется дифференцированно по площади Тунгусского месторождения подземных вод. Выделяются две зоны по степени и активности взаимодействия речных и подземных вод (Кулаков и др., 2006, 2017; Кулаков, Штенгелов, 2009).

Приречный тип режима подземных вод (зона берегового регулирования – активного влияния колебаний уровня поверхностных вод в основном русле и протоках Амура) при ординарном внутригодовом режиме гидросети распространяется в глубь берега на 2.0–2.5 км (кусты № 1001–1004). Коэффициент корреляции уровней подземных и поверхностных вод от 0.6 до 0.95 и выше.

В периоды аномальной водности (катастрофическое наводнение 2013 г.) влияние подпора подземных вод со стороны гидросети распространяется на 5–6 км. Определенное влияние на ход уровней подземных вод оказывает изменение водности в бассейне Амура в последние годы – от маловодного многолетнего цикла начался период повышенной водности, и, по-видимому, наблюдается пролонгированное воздействие на подземные воды последствий катастрофического наводнения 2013 г.

Характерные значения амплитуды годовых колебаний уровней в этой зоне приведены в табл. 1.

В зоне междуречного режима (на удалении от контуров гидросети более 2.5–3 км) влияние уровня режима рек существенно проявляется лишь в периоды повышенной водности (рис. 3, табл. 2). В остальное время годовая амплитуда колебания уровней в этой зоне обычно менее 0.5 м. Это свидетельствует о том, что роль *климатического* режимобразующего фактора в значительной мере подавлена регулирующей емкостью покровных слабопроницаемых глинистых образований. Поверхность озерно-аллювиальной террасы практически постоянно переувлажнена; питание плиоцен-четвертичного горизонта в виде фильтрации через слабопроницаемые покровные отложения зарегулировано и остается практически постоянным в годовом разрезе. Кроме регулирования питания, слабопроницаемый покров выполняет важнейшую функцию защиты эксплуатируемого водоносного горизонта от поверхностных загрязнений – в первую очередь, бактериальных. Расчеты (при нормативном сроке жизнедеятельности микроорганизмов 400 сут) показывают, что специальная организация II пояса зоны санитарной охраны на месторождении не требуется и он может быть совмещен с I поясом строгого режима.

Данные мониторинга свидетельствуют о незначительном влиянии достигнутого эффективного водоотбора подземных вод на Тунгусском водозаборе на гидрогеодинамическую обстановку в эксплуатируемой водоносной системе. Под эффективным водоотбором понимается разность фактически извлеченного объема подземных вод и объема насыщенной кислородом воды, возвращаемой в пласт для формирования биогеохимического реактора в водоносном горизонте. Максимальный среднемесячный водоотбор достигал 20 тыс. м³/сут, затем он постепенно снижался до 7–8 тыс. м³/сут.

Таблица 1. Данные мониторинга в зоне приречного режима

Table 1. Monitoring data in the riverain regime zone

Показатель	Амур	Номер наблюдательного куста		
		1001	1002	1004
Удаление от контуров гидросети, м	0	120	435	1500
Коэффициент корреляции с уровнями гидросети		0.991	0.966	0.611
Амплитуда колебаний уровня в 2012 г., м (ординарный водный режим гидросети)	~ 3	1.83	1.28	0.81
Амплитуда колебаний уровня в 2013 г., м (катастрофический паводок)	~ 8	~ 7	5.80	5.66
Амплитуда колебаний уровня в 2017 г., м (режим повышенной водности гидросети)	~ 5	3.98	2.41	2.32
Время наступления максимума стояния уровня после гребня паводка 2013 г., сут	0	1	2	~ 5

Рис. 3. Ход уровней в зоне приречного (куст № 1004) и междуречного (кусты № 1006, 1007) режима
Fig. 3. Level variations in the riverain (well No.1004) and the interfluvial (wells No. 1006, 1007) regime

Таблица 2. Данные мониторинга в зоне междуречного режима

Table 2. Monitoring data in the interfluvial regime zone

Показатель	Амур	Наблюдательный куст		
		1005	1006	1007–1008
Удаление от контуров гидросети, м	0	~ 3000	4700	2800
Коэффициент корреляции с уровнями гидросети		0.497	0.079	0.306–0.374
Амплитуда колебаний уровня в 2012 г., м (ординарный водный режим гидросети)	~ 3	0.52	0.56	0.46
Амплитуда колебаний уровня в 2013 г., м (катастрофический паводок)	~ 8	2.61	2.10	2.52
Амплитуда колебаний уровня в 2017 г., м (режим повышенной водности гидросети)	~ 5	1.42	0.62	0.69–1.06
Время наступления максимума стояния уровня после гребня паводка 2013 г., сут	0	82	63	10–12

Оценка формирующихся в пласте понижения уровней неоднозначна в силу значительной амплитуды ежегодных вариаций водного режима гидросети и существенной изменчивости величины эффективного водоотбора. Так, например, уровень подземных вод в центре 1-й секции водозабора (куст наблюдательных скважин № 1151) до начала эксплуатации (июнь 2012 г.) зафиксирован на абсолютных отметках 29.80–31.45 м. В 2017 г., несмотря на 5-летний период водоотбора подземных вод, уровни в скважинах куста № 1151 располагались на абсолютных отметках 31.38–31.71 м. Модельная реконструкция величин понижения уровней с учетом реальной динамики эффективного водоотбора показывает (рис. 4), что максимальные понижения в 2014 г. достигали значений от 2.5–3 м в наиболее близко расположенной к водозабору наблюдательной скважине № 1003 до 0.8–1.0 м в относительно удаленных скважинах. При последующем снижении эффективного водоотбора в 2015–

2016 гг. понижения закономерно уменьшаются до 1 м в скважине № 1003 и до 0.2–0.3 м в удаленных скважинах.

Особо следует отметить «параметрическую» функцию наблюдений на системах объектного мониторинга (Гриневский, Штенгелов, 1995). При непродолжительных опытных работах в ходе разведочных работ на месторождениях в принципе не могут быть изучены и параметрически охарактеризованы медленно протекающие процессы (внутреннее перетекание в сложно построенных слоистых системах, динамика проявления гравитационной водоотдачи и др.), обычно слабо или вовсе не изучено влияние удаленных граничных условий. Некоторые гидрогеодинамические и технологические параметры обладают свойством непредсказуемо изменяться во времени – например, фильтрационное сопротивление ложа рек, пропускная способность фильтров водозаборных скважин и т. п. А при длительной эксплуатации эти процессы проявляются и могут активно вли-

Рис. 4. Модельная реконструкция понижения уровней в плиоцен-четвертичном водоносном горизонте

Fig. 4. Model reconstruction of level lowering in the Pliocene-Quaternary aquifer

ять на поведение депрессионной воронки, понижения уровней, изменения качества воды.

Поэтому система мониторинга должна быть продумана и организована так, чтобы позволяла количественно оценивать ряд важных параметров на основе многолетних наблюдений. Важно также, что многолетние данные мониторинга дают возможность многократной повторности таких оценок, а это резко повышает их достоверность и исключает возможность случайных погрешностей

На Тунгусском месторождении по данным мониторинга выполнены многократные оценки уровневпроводности плиоцен-четвертичного водоносного горизонта, в том числе по периоду аномального наводнения 2013 г. Полученные величины от $2.5 \cdot 10^4$ (в области субнапорного режима) до $1.5 \cdot 10^4$ м²/сут (в области безнапорного режима) соответствуют значениям активной пористости отложений 0.14–0.24. Время продвижения речной воды из Пемзенской протоки к крайним скважинам восточного фланга водозаборного ряда составляет около 1.5–2 лет.

На приречном створе скважин № 1001 и 1002 выполнена оценка фильтрационного сопротивления ложа Пемзенской протоки. Установлен факт значительного уменьшения параметра эквивалентной длины ΔL – от 117 м в 2012 г. до 32–52 м в 2013–2014 гг. Такое изменение сопротивления ложа протоки может быть связано только со сносом суглинистых донных отложений при резком возрастании скорости течения в

период паводка 2013 г. Отметим, что без данных систематических многолетних наблюдений этот важный для прогнозных решений факт остался бы неизвестным.

Неопределенную погрешность в оценку гидрогеодинамических параметров может внести наличие барометрической эффективности – зависимости уровней в открытых наблюдательных скважинах от величины действующего атмосферного давления (Волейшо, 1984). В частности, по данным мониторинга постоянно отмечается наличие кратковременных синхронных пиков повышения или понижения уровней в удаленных скважинах (№ 1005, 1006 и др.),

явно не спровоцированных циклическим режимом работы биореакторов у эксплуатационных скважин. Для выявления и количественной оценки барометрического эффекта в зоне Тунгусского водозабора выбраны удаленные от водозабора и водотоков кусты режимных скважин (№ 1005, 1006, 1009), чтобы максимально избежать влияния других природных и технологических режимобразующих факторов. Кроме того, в пределах каждого годового цикла анализировались преимущественно меженные периоды. Оценка барометрической эффективности проведена по величине углового коэффициента графиков зависимости изменения уровней подземных вод от величины атмосферного давления (рис. 5).

Полученные значения коэффициента барометрической эффективности 0.59–0.61 характеризуют

Рис. 5. Регрессионная диаграмма изменения уровней подземных вод и атмосферного давления (№ 1006)

Fig. 5. Regression diagram of changes in groundwater levels and atmospheric pressure (No. 1006)

ют приамурскую свиту как субнапорный горизонт с достаточно мощной, эффективно действующей перекрывающей толщей, представленной глинами и тяжелыми суглинками. Метеорологическая зона Тунгусского месторождения характеризуется годовой амплитудой изменчивости атмосферного давления около 30 (2016 г.) – 40 (2015 г.) мм рт. ст. (40–50 мбар, или 0.4–0.5 м вод. ст.). Соответственно при характерной барометрической эффективности примерно 0.5–0.6 диапазон барометрической поправки уровней подземных вод составит 0.2–0.3 м. В то же время при оценке фильтрационного сопротивления ложа Пемзенской протоки рабочий диапазон разности уровней между скважинами № 1001, 1002 и протокой находится в интервале ± 0.4 м. Очевидно, что при таких соотношениях необходима корректировка фактически наблюдаемых уровней подземных вод с учетом синхронной изменчивости атмосферного давления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексные наблюдения в составе объектного мониторинга на вводимом в строй Тунгусском водозаборе позволяют, кроме формирования государственной статистической отчетности, выявить ряд важных локальных и региональных условий, существенно влияющих на принятие проектных и оперативных управляющих решений.

Надежно подтверждается защитная роль толщи покровных глин и суглинков, изолирующих эксплуатируемый плиоцен-четвертичный водоносный горизонт от поверхностных загрязнений. Разница в отметках уровней поверхностных и подземных вод при затоплении территории месторождения составляла от 1.5 до 6.5 м, при этом заметного влияния паводковых вод на подземную гидросферу в междуречье Амура и Тунгуски отмечено не было. Это позволяет сделать важный практический вывод о возможности совмещения I и II поясов зоны санитарной охраны водозабора. Кроме того, наличие мощной покровной толщи обеспечивает значительную зарегулированность питания горизонта и минимизирует сезонную изменчивость уровня режима.

В пределах месторождения выделены зоны приречного (гидрологического) и междуречного режима подземных вод. Скорректирована методика и достоверность оценки гидрогеодинамических параметров благодаря введению барометрической поправки уровней подземных вод в открытых скважинах. С многократной повторностью оценены параметры водоносного горизонта (уровнепроводность, активная пористость, фильтрационное сопротивление ложа Пемзенской протоки), что позволило уточнить предварительную численную модель месторождения.

Опыт организации мониторинга на Тунгусском месторождении показывает необходимость тщательного научного обоснования и ответственного ведения наблюдений на системах объектного мониторинга на разведываемых и освоенных месторождениях подземных вод.

ЛИТЕРАТУРА

Волейшо В. О. Гидрогеологическая реакция подземных вод на проявления внешних природных сил атмосферного давления, океанических и земных приливов // Гидрогеология и инженерная геология. М. : ВИЭМС, 1984. 57 с.

Гриневский С. О., Штенгелов Р. С. Мониторинг приречных месторождений подземных вод // Вестник Моск. ун-та. Сер. 4, геология. 1995. № 6. С. 52–58.

Кулаков В. В., Медведева Н. И. Влияние катастрофического наводнения на уровень подземных вод Амуро-Тунгусского междуречья : Материалы Всерос. конф. «Водные и экологические проблемы, преобразование экосистем в условиях глобального изменения климата», 29.09–3.10.2014, г. Хабаровск : сб. докладов [Электрон. ресурс]. Хабаровск : ИВЭП ДВО РАН, 2014. С. 101–103.

Кулаков В. В. Использование внутрипластовой очистки подземных вод от железа и марганца (на примере г. Хабаровск) // Вестник ДВО РАН. 2013а. № 2 (168). С. 84–89.

Кулаков В. В., Андреева Д. В., Козырев Р. С. и др. Мониторинг естественного и нарушенного режима подземных вод в Амуро-Тунгусском междуречье / Конф. с междунар. участием «Регионы нового освоения: Естественные сукцессии и антропогенная трансформация природных комплексов», 4–7 окт. 2017 г., Хабаровск : сб. материалов. Хабаровск : ИВЭП ДВО РАН, 2017. С. 165–168.

Кулаков В. В., Стеблевский В. И., Домнин К. В. и др. Опытнo-промышленная эксплуатация пилотной установки очистки подземных вод на Тунгусском водозаборе // Водоснабжение и санитарная техника. 2012. № 7. С. 29–35.

Кулаков В. В., Штенгелов Р. С. Оценка запасов пресных подземных вод в речных долинах Приамурья : Материалы Всерос. совещ. по подземным водам Востока России с междунар. участием / XIX Совещ. по подземным водам Сибири и Дальнего Востока 22–25 июня 2009 г., Тюмень, 2009. С. 254–257.

Кулаков В. В., Штенгелов Р. С. Покровные отложения Амуро-Тунгусского междуречья – биогеохимический барьер от загрязнения подземных вод // Биогеохимия и гидроэкология наземных и водных экосистем [Электрон. ресурс]. Хабаровск : ИВЭП ДВО РАН, 2015. Вып. 21. С. 80–87.

Кулаков В. В. Тунгусское месторождение некондиционных подземных вод для водоснабжения Хабаровска – от выбора объекта до начала эксплуатации // Гидрогеология сегодня и завтра: наука, образование, практика : Материалы междунар. науч. конф. Москва, 22–24 мая 2013 г. к 60-летию со дня основания кафедры гидрогеологии МГУ им. Ломоносова. М. : МАКС Пресс, 2013б. С. 449–455.

Кулаков В. В., Тесля В. Г., Штенгелов Р. С. Тунгусское месторождение подземных вод Хабаровского

водного узла : сб. докладов 7-го междунар. конгресса ЭКВАТЭК-2006 «Вода: экология и технология». М., 30.05–2.06.2006. Ч. 1. С. 255–256.

Фишер Н. К., Кулаков В. В., Медведева Н. И. Перспективы использования подземных вод для питьевых нужд на территории Еврейской автономной области // Современные проблемы регионального развития : Материалы V междунар. науч.-практ. конф. Биробиджан, 09–11.09.2014. ИКАРП ДВО РАН – ФГБОУ ВПО «ПГУ им. Шолом-Алейхема». С. 192–193.

Шамов В. В., Ониши Т., Кулаков В. В. Сток растворенного железа в реках бассейна Амура в конце XX века // Водные ресурсы. 2014. Т. 41, № 2. С. 206–215.

Kulakov V. V., Fisher N. K., Kondratieva L. M., Grischek T. Chapter 17. Riverbank Filtration as an Alternative to Surface Water Abstraction for Safe Drinking Water Supply to the City of Khabarovsk, Russia // Eds. C. Ray, M. Shamruk. *Riverbank Filtration for Water Security in Desert Countries*. Springer Science + Business Media, 2011. P. 281–298.

Поступила в редакцию 09.11.2018 г.

Поступила после доработки 01.02.2019 г.

MONITORING OF GROUNDWATER LEVELS IN THE AMUR-TUNGUSKA INTERFLUVE

V. V. Kulakov¹, R. S. Shtengelov²

¹*Institute of Water and Ecological Problems, FEB RAS, Khabarovsk*

²*Lomonosov Moscow State University, Moscow*

The results of long-term monitoring of groundwater levels in the Tunguska field within the Middle Amur artesian basin, between the Amur and Tunguska rivers, are presented. The sanitary-protective role of cover deposits in the geological section of the artesian basin cover in the organization of zones of sanitary protection of water intake is proved. Through adjusting the Tunguska field hydrogeodynamic model, it is shown that, with the present level of groundwater drainage from the wells of the Tunguska water intake, the level decrease in the main part of the depression funnel does not exceed 0.2–0.5 m.

Keywords: groundwater levels, monitoring, Amur, Tunguska, Tunguska water intake.

REFERENCES

Fisher, N. K.; Kulakov, V. V.; Medvedeva, N. I., 2014, Prospects of Groundwater Use for Drinking Needs in the Jewish Autonomous Region, *Modern Problems of Regional Development : Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference*, Birobidzhan, 09–11.09.2014, ICARP FEB RAS – ASU n. a. Sholem Aleichem, 192–193 [In Russian].

Grinevsky, S. O.; Shtengelov, R. S., 1995, Monitoring of Riverain Groundwater Deposits, *MSU Vestnik, Ser. 4. Geol.*, 6, 52–58 [In Russian].

Kulakov, V. V., 2013a, Use of Intrastratal Treatment of Groundwater from Iron and Manganese (Exemplified by Khabarovsk), *Vestnik FEB RAS*, 2 (168), 84–89 [In Russian].

Kulakov, V. V., 2013b, Tunguska Field of Substandard Groundwater for Water Supply of Khabarovsk – from Selecting the Object to Beginning Operation Activity, *Hydrogeology Today and Tomorrow: Science, Education, Practice : Materials of the International Scientific Conference: Moscow, May 22–24, 2013: to the 60th Anniversary the Department of Hydrogeology, Lomonosov Moscow State University*, Moscow, MAKS Press, 449–455 [In Russian].

Kulakov, V. V.; Andreeva, D. V.; Kozyrev, R. S.; Matvienko, D. V.; Shtengelov, R. S., 2017, Monitoring of Natural and Disturbed Regime of Groundwater in the Amur-Tunguska Interfluvium, *Conf. with International Part. "Regions of New Development: Natural Succession and Anthropogenic Transformation of Natural Complexes"*, October 4–7, 2017, Khabarovsk, Proceedings, Khabarovsk, IWEP FEB RAS, 165–168 [In Russian].

Kulakov, V. V.; Fisher, N. K.; Kondratieva, L. M.; Grischek, T., 2011, Chapter 17. Riverbank Filtration as an Alternative to Surface Water Abstraction for Safe Drinking Water Supply to the City of Khabarovsk, Russia, Eds. C. Ray, M. Shamruk, *Riverbank Filtration for Water Security in Desert Countries*, Springer Science + Business Media, 281–298.

Kulakov, V. V.; Medvedeva, N. I., 2014, The Catastrophic Flood Impact on the Groundwater Level of the Amur-Tunguska Interfluvium, *All-Russia Conference "Water and Environmental Problems, Transformation of Ecosystems in the Context of Global Climate Change"*, 29.09–3.10.2014, Khabarovsk, Proc. [Electronic Resource], Khabarovsk, IWEP FEB RAS, 101–103 [In Russian].

Kulakov, V. V.; Shtengelov, R. S., 2009, Estimation of Fresh Groundwater Reserves in the River Valleys of the Amur River Region, *Proceedings of the All-Russian Meeting on Groundwater in the East of Russia with International Participation (19th Meeting on Groundwater in Siberia and the Far East), 22–25 June, Tyumen*, 254–257 [In Russian].

Kulakov, V. V.; Shtengelov, R. S., 2015, Cover Sediments of the Amur-Tunguska Interfluvium – Biogeochemical Barrier from Groundwater Pollution, *Biogeochemistry and Hydroecology of Terrestrial and Aquatic Ecosystems* [Electronic Resource], Khabarovsk, IWEP FEB RAS, 21, 80–87 [In Russian].

Kulakov, V. V.; Steblevsky, V. I.; Domnin, K. V.; Teslya, V. G.; Herlitzius, I., 2012, Test Operation of the Pilot Groundwater Treatment Plant at the Tunguska Water In-

take, *Water Supply and Sanitary Technique*, 7, 29–35 [In Russian].

Kulakov, V. V.; Teslya, V. G.; Shtengelov, R. S., 2006, Tungus Deposit of Groundwater in the Khabarovsk Water Node, *Proc. of the 7th International Congr. ECWATECH-2006 “Water: Ecology and Technology”*, Moscow, 30.05–2.06.2006, 1, 255–256 [In Russian].

Shamov, V. V.; Onishi, T.; Kulakov, V. V., 2014, Dissolved Iron Runoff in the Amur Basin Rivers in the Late 20th Century, *Water Resour.*, 41, 2, 201–209.

Voleisho, V. O., 1984, Hydrogeological Reaction of Groundwater on Manifestations of Natural External Forces of Atmospheric Pressure, Oceanic and Earth Tides, *Hydrogeology and Engineering Geology*, Moscow, VI-EMS [In Russian].