

ПОВЕРХНОСТНЫЕ И ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ СУШИ

УДК: 911.5/9
DOI: 10.15372/KZ20240304
EDN: DVKZJM

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ РЕЖИМА ГРУНТОВЫХ ВОД
НА ФОНЕ ИЗМЕНЕНИЙ СНЕГОЗАПАСОВ
(НА ПРИМЕРЕ ПРИОКСКО-ТЕРРАСНОГО ЗАПОВЕДНИКА)**

Л.М. Китаев^{1,*}, В.А. Аблеева²

¹ *Институт географии РАН, 109017, Москва, Старомонетный пер., 29, Россия*

² *Приокско-Террасный государственный природный биосферный заповедник, 142200, Московская обл., пос. Данки, Россия*

**Автор для контакта; e-mail: lkitaev@mail.ru*

На основе данных экспериментальных наблюдений 1999–2021 гг. на примере характерных участков Приокско-Террасного заповедника уточнена степень влияния снегонакопления на динамику глубины залегания уровней грунтовых вод с учетом изменчивости приземной температуры воздуха и осадков. Проведена оценка пространственной неоднородности сезонных и многолетних изменений метеорологических характеристик и глубины залегания уровня грунтовых вод. Регрессионный анализ показал наличие значимого влияния снегозапасов на многолетнюю динамику глубины залегания грунтовых вод как в снежный период (декабрь–апрель), так и во время их максимального подъема (май–июль) – при малой значимости влияния приземной температуры воздуха холодного периода, продолжительности оттепелей и их суммы положительных температур. Полученные закономерности могут быть использованы для уточнения особенностей региональных процессов водообмена и модельных алгоритмов соответствующего направления исследований.

Ключевые слова: *глубина залегания уровня грунтовых вод, толщина снежного покрова, приземная температура воздуха, осадки, оттепели, пространственно-временная изменчивость, регрессионные зависимости.*

Ссылка для цитирования: Китаев Л.М., Аблеева В.А. Изменчивость режима грунтовых вод на фоне изменений снегозапасов (на примере Приокско-Террасного заповедника) // Криосфера Земли, 2024, т. XXVIII, № 3, с. 43–51. DOI: 10.15372/KZ20240304. EDN: DVKZJM.

**VARIABILITY OF THE GROUNDWATER REGIME
ON THE BACKGROUND OF CHANGES IN SNOW STORAGE
(BY THE EXAMPLE OF THE PRIOKSKO-TERRASNY RESERVE)**

L.M. Kitaev^{1,*}, V.A. Ableeva²

¹ *Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Staromonetny per. 29, Moscow, 109017 Russia*

² *Prioksko-Terrasny State Natural Biosphere Reserve, Danki, Moscow region, 142200 Russia*

**Corresponding author; e-mail: lkitaev@mail.ru*

Based on observation data on typical areas of the Prioksko-Terrasny Reserve for 1999–2021, the influence of snow accumulation on the dynamics of the groundwater level was clarified with due account for the variability in air temperature and precipitation. An assessment of the spatial heterogeneity of seasonal and long-term variability in meteorological characteristics and the groundwater level was made. A regression analysis demonstrated that the snow storage has a significant influence on the long-term dynamics of the groundwater level during both the snowy season (December–April) and the maximum rise of the groundwater level (May–July). The effects of the air temperature of the cold season, duration of thaws, and the accumulated positive air temperatures during them on the groundwater level were statistically insignificant. The obtained conclusions complement the results of studies of the relationship between the variability of snow cover characteristics and the depth of groundwater under the conditions of modern meteorological regime and can be used to specify regional features of water exchange processes.

Keywords: *groundwater levels, snow thickness, air temperature, precipitation, thaws, spatial and temporal variability, regression dependencies.*

ВВЕДЕНИЕ

Состояние грунтовых вод оказывает определяющее влияние на формирование водного баланса, будучи, в свою очередь, зависимым от изменений климата, региональных геологических особенностей и свойств почвенного покрова, рельефа и растительности. По данным А.В. Кислова [2011], удельная масса подземных вод в планетарном масштабе уступает лишь удельной массе вод в Антарктическом щите (соответственно $15 \cdot 10^3$ и $53 \cdot 10^3$ кг/м²), и на них приходится около 33 % от общего водопотребления России, а также 36,2 % от общего речного стока Европы [Джамалов и др., 2017]. Результаты исследований Ю.Г. Чендева с соавт. [2020] показывают связь многолетних колебаний уровня грунтовых вод, приземной температуры воздуха и суммарных осадков на юге Среднерусской возвышенности. Изменения климата за последние десятилетия привели к перераспределению годового стока рек крупных регионов: на фоне потепления снизился объем весеннего половодья при увеличении объема меженного стока при сезонных и многолетних изменениях запасов грунтовых вод [Научно-прикладной справочник..., 2021]. По данным [Журавин др., 2020], для Восточно-Европейской равнины во второй половине XX в. отмечался подъем грунтовых вод: на Нижнедевицкой водно-балансовой станции за период 1978–2008 гг. уровень грунтовых вод поднялся на 1 м, на водно-балансовой станции Каменная Степь – на 2,4–2,8 м с последующим снижением на 0,5–0,8 м и стабилизацией.

Основные закономерности изменения состояния грунтовых вод и их роли в водном балансе изучены достаточно подробно [Куделин, 1960; Шестаков, Поздняков, 2003], в том числе в связи с изменениями климата [Вершинина и др., 1985; Лавров, Марков, 2018; Фролова и др., 2022], с региональными геологическими особенностями [Ланге, 1969], с рельефом и растительностью [Ланге, 1949; Русаленко, 2008]. Разрабатываются модельные сценарии динамики подземных вод [Гриневский, 2021]. Подтверждена возможность миграции талых вод из верхних почвенных горизонтов до уровня грунтовых вод [Калюжный, Лавров, 2012б]. Среди климатических факторов, влияющих на локальные и региональные изменения глубины залегания уровня грунтовых вод, выделяются сумма осадков, приземная температура воздуха и связанная с ней температура почвы, атмосферное давление. В условиях высоких и средних широт, где снежный покров занимает значительные площади на срок до семи месяцев в году, запас воды в нем также во многом определяет режим изменчивости подземных вод [Научно-прикладной справочник..., 2021]. При этом оценки степени влияния снеготаяния на изменение уровня грун-

товых вод в настоящий момент имеют значительную неопределенность. Так, наряду с максимальным повышением уровня грунтовых вод после весеннего снеготаяния, многолетний рост зимних температур воздуха вызывает увеличение числа оттепелей, в связи с чем через склоновую и, по-видимому, подземную составляющие возрастает меженный сток рек [Фролова и др., 2022], однако промерзание почвы и ледяная корка на ее поверхности в это время должны препятствовать переходу талых вод в подземный сток.

Цель исследований заключается в уточнении степени влияния снеготаяния на сезонную динамику режима грунтовых вод путем анализа пространственно-временной изменчивости метеорологических характеристик.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Основой анализа являются данные наблюдений 1999–2021 гг. за колебаниями глубины залегания уровня грунтовых вод (ГЗУГВ) на территории Приокско-Террасного заповедника (далее – Заповедник), расположенного на юге Московской области на террасах и приводораздельных пространствах р. Оки. Верхние водосодержащие безнапорные горизонты южной части Московского региона располагаются в породах каменноугольных отложений (известняки, пески и водоупорные глины) с глубиной залегания до 15 м. В числе метеорологических причин изменчивости режима грунтовых вод в качестве основных упоминаются изменения приземной температуры воздуха, осадков и снеготаяния. Появление снежного покрова при отрицательных зимних температурах воздуха и почвы сопровождается снижением ГЗУГВ до годового минимума – в условиях Заповедника в апреле–начале мая, с максимумом после начала весенне-летнего потепления – в июне–июле. Ввиду вышеизложенного для выявления взаимосвязи динамики характеристик в холодный (декабрь–апрель) и теплый (май–июль) периоды года наряду с данными наблюдений за уровнем грунтовых вод, авторами использованы результаты наблюдений за приземной температурой воздуха, осадками и запасами воды в снежном покрове.

Анализ изменчивости ГЗУГВ вод основан на декадных данных наблюдений вытяжными указателями уровня в стационарных скважинах глубиной 15 м [Наставление..., 1990], расположение которых показано на рис. 1. Скважины № 1, 2 и 93 (квартал 36а) расположены на приводораздельном участке в лесном массиве с преобладанием хвойных пород на легкосуглинистых подзолистых почвах на песках, координаты 51.8591° с.ш., 37.6301° в.д., абсолютная высота 155 м; 54.8579° с.ш., 37.6297° в.д., абсолютная высота 144 м; 54.8585° с.ш.,

37.6397° в.д., абсолютная высота 136 м соответственно. Скважина № 95 (квартал 34а) расположена вблизи русла р. Оки на открытом пространстве с луговой растительностью на средне- и тяжело-суглинистых луговых оглеенных почвах на аллювиальных песках; координаты 54.8563° с.ш., 37.6033° в.д., абсолютная высота 124 м. Скважина № 97 (квартал 4) расположена на приводораздельном участке в лесном массиве с преобладанием лиственных пород на средне- и тяжело-суглинистых дерново-подзолистых почвах на аллювиальных отложениях; координаты 54.9154° с.ш., 37.5023° в.д., абсолютная высота 166 м.

В ходе проведенных ранее экспериментальных исследований для всех характерных ландшафтов Заповедника в период с устойчивым снежным покровом выявлена динамика температур почвы в диапазоне от +1 до -1 °С на глубине 40 см и стабильно положительная температура на глубине 80 см [Китаев и др., 2017].

Измерения метеорологических характеристик проводились по стандартным методикам Росгидромета [Наставления..., 1985]: водный эквивалент снега (далее снегозапасы) – ежедекадно (декабрь–апрель) по трем закрепленным на местности снегомерным маршрутам в непосредственной близости от стационарных скважин в лесных массивах с преобладанием хвойных и лиственных пород (кварталы 36а, 4), а также на открытом пространстве с реликтовой луговой растительностью (квартал 34а); осадки и приземная температура воздуха – на метеорологической площадке (54.9025° с.ш., 37.3517° в.д.) два раза в сутки осадкомером Третьякова и штатными для наблюдений термометрами каждые три часа. Проведение наблюдений по стандартным методикам в пределах типичных ландшафтных комплексов Заповедника (см. рис. 1) позволяет считать полученные данные репрезентативными для сравнения временной изменчивости исследуемых характеристик.

Первый снег на территории Заповедника ложится на почву в начале декабря и окончательно сходит к середине апреля; устойчивый снежный покров формируется к середине декабря и разрушается в конце марта – начале апреля; заметное повышение ГЗУГВ отмечается в первые летние месяцы. Исходя из основной задачи исследования – оценки отклика динамики ГЗУГВ на особенности снегонакопления, анализ сезонной изменчивости уровней и метеорологических характеристик проводился для периодов с декабря по апрель (далее – холодный период года) и с мая по июль (далее – теплый период года). Суточные значения приземной температуры воздуха и осадков (для соответствия частоте наблюдений за ГЗУГВ и снежным покровом) использовались в виде средних величин за декаду. Средние многолетние зна-

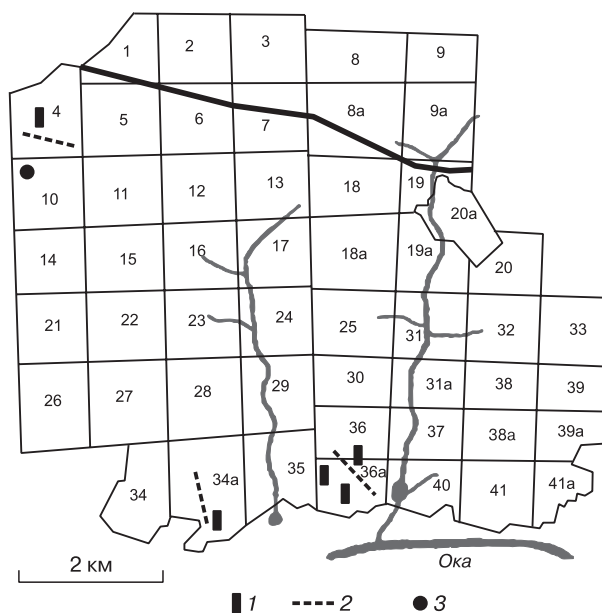


Рис. 1. Расположение объектов наблюдения с привязкой к кварталам Заповедника.

1 – скважины № 1, 2, 93 в квартале 36а; скв. № 95 в квартале 34а, скв. № 97 в квартале 4; 2 – маршруты снегомерных съёмов; 3 – метеорологическая станция.

чения и многолетние тренды определялись по средним за каждый год сезонным величинам. Регрессионные зависимости оценивались для внутрисезонной изменчивости характеристик по декадным значениям и для многолетних изменений – по средним сезонным значениям.

Объективный анализ проводился с использованием стандартных методов математической статистики. Внутрисезонная и многолетняя динамика характеристик оценивалась по величине стандартного отклонения, тенденции многолетних изменений – по величине коэффициентов линейных трендов, теснота связей изменчивости – методом регрессионного анализа. Значимыми принимались коэффициенты регрессии и коэффициенты линейных трендов с уровнем критерия Стьюдента более 95 %.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ИССЛЕДУЕМЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Минимальные для холодного периода значения приземной температуры воздуха на территории Заповедника наблюдаются в январе–феврале при внутрисезонном диапазоне от -9 до 5 °С; количество осадков имеет разброс 1.5–50 мм. Значения приземной температуры воздуха теплого периода увеличиваются от мая к июлю, при внутрисезонном диапазоне от 6 до 22 °С; абсолютный

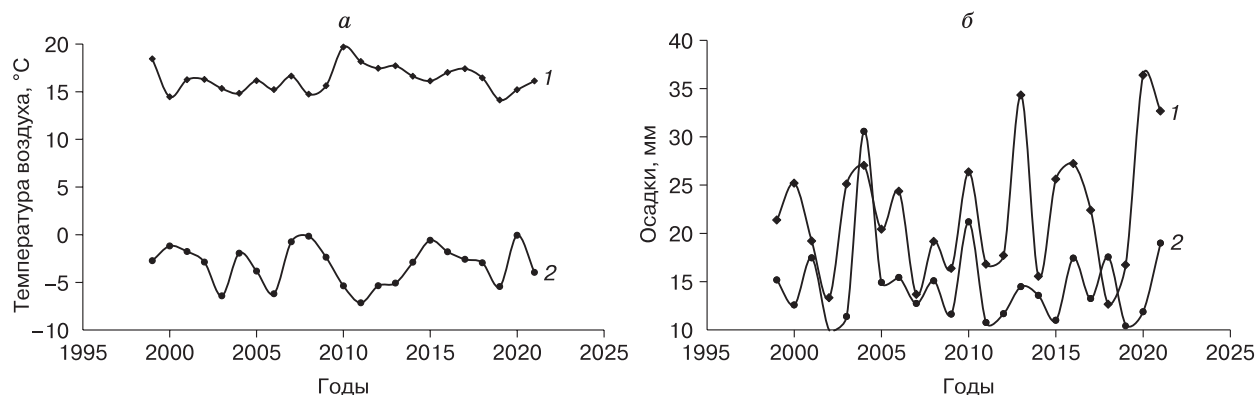


Рис. 2. Многолетняя изменчивость приземной температуры воздуха (а) и осадков (б) в теплый (1) и холодный (2) периоды года.

Таблица 1. Многолетняя изменчивость приземной температуры воздуха и осадков

| Характеристика | Холодный период (январь–апрель) | | Теплый период (май–июль) | |
|--|---------------------------------|--------------|--------------------------|--------------|
| | Приземная температура | Осадки | Приземная температура | Осадки |
| Среднее, °С/мм | -3.2 | 14.2 | 16.4 | 21.7 |
| Стандартное отклонение, °С/мм | 2.10 | 4.40 | 1.37 | 6.46 |
| Коэффициент линейного тренда, °С/10 лет; мм/10 лет | <i>0.697</i> | <i>0.554</i> | <i>0.082</i> | <i>0.877</i> |

Примечание. Курсивом выделены коэффициенты, незначимые на уровне 95 %.

максимум наблюдался в 2010 г. и составил 27 °С. Количество средних за сезон осадков в теплый период также увеличивается от мая к июлю при внутрисезонном диапазоне от 6 до 60 мм.

Максимальные снеготзапасы фиксируются в конце февраля – начале марта; устойчивый снежный покров с покрытием территории в 10 баллов формируется в декабре, разрушается к середине апреля. Имеющаяся неоднородность распределения снеготзапасов по площади связана с особенностями растительного покрова; при этом внутрисезонная динамика снеготзапасов разных участков различается мало – коэффициент корреляции составляет 0.98.

Особенности многолетнего метеорологического режима на территории Заповедника иллюстрируют рис. 2 и табл. 1. Средние многолетние значения приземной температуры воздуха составляют -3.2 и 16.4 °С в холодный и теплый периоды года соответственно; стандартное отклонение в холодный период превышает стандартное отклонение теплого периода в 1.5 раза. Средние многолетние величины осадков теплого периода и их стандартного отклонения в 1.5 раза превышают аналогичные значения холодного периода. Значимые многолетние тенденции изменений характеристик отсутствуют.

Средние многолетние значения снеготзапасов на открытом пространстве и в лесных массивах с

преобладанием лиственных пород превышают значения снеготзапасов лесных массивов с преобладанием хвойных пород в 1.2–1.3 раза, что связано с перехватом твердых осадков кронами хвойных деревьев; различия величины стандартного отклонения невелики – на 1.5–1.7 мм (рис. 3, табл. 2); корреляция многолетнего хода снеготзапасов на различных участках значима с коэффициентами 0.84–0.87. Коэффициенты линейных трендов снеготзапасов положительны и значимы, будучи максимальными на открытых пространствах – 8.2 мм/10 лет и меньшими в лесных массивах – 4.3–5.5 мм/10 лет, что также может быть связано со сглаживанием многолетних изменений в результате перехвата твердых осадков кронами деревьев. Продолжительность залегания устойчивого снежного покрова на характерных участках Заповедника и стандартное отклонение их многолетнего хода различаются мало, составляя в среднем 121–124 сут и 19–23 сут; значимые многолетние тенденции в данном случае отсутствуют (см. рис. 3, табл. 2).

Максимальная средняя многолетняя за сезон ГЗУГВ отмечена в лесном массиве с преобладанием лиственных пород (7.68 и 7.64 м соответственно, в холодный и теплый периоды года), наименьшая – на открытом пространстве (4.53 и 4.59 м соответственно), в наиболее высокой и низкой точках рельефа Заповедника. В целом для территории

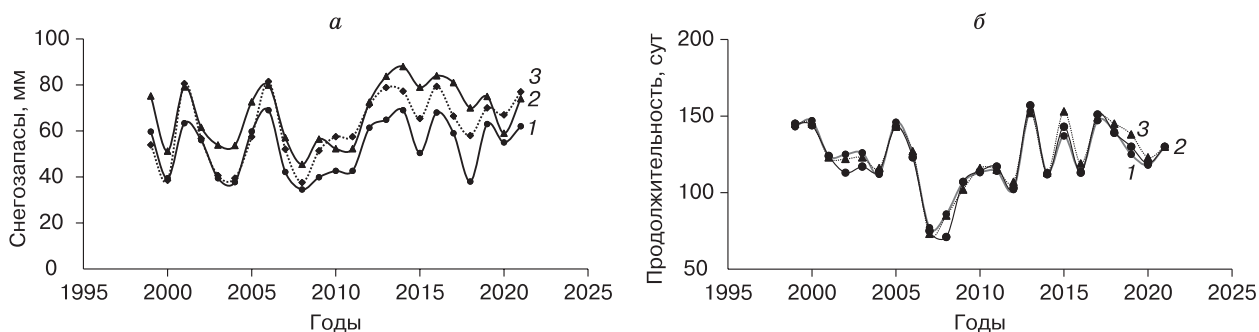


Рис. 3. Многолетние изменения средних снегозапасов (а) и количества дней залегания (б) для периода с устойчивым снежным покровом в лесах с преобладанием хвойных (1) и лиственных (2) пород, а также на открытом пространстве (3).

Таблица 2. Многолетняя изменчивость снегозапасов

| Характеристика | Лесные массивы с преобладанием | | Открытые пространства |
|--|--------------------------------|------------------|-----------------------|
| | хвойных пород | лиственных пород | |
| <i>Снегозапасы</i> | | | |
| Среднее, мм | 53 | 68 | 62 |
| Стандартное отклонение, мм | 11.79 | 12.98 | 5.54 |
| Коэффициент линейного тренда, мм/10 лет | 4.267 | 5.539 | 8.234 |
| <i>Количество дней с устойчивым снежным покровом</i> | | | |
| Среднее, сут | 123 | 124 | 121 |
| Стандартное отклонение, сут | 19.34 | 20.70 | 22.56 |
| Коэффициент линейного тренда, сут/10 лет | 2.201 | 4.241 | 3.508 |

Примечание. Курсивом выделены коэффициенты, незначимые на уровне 95 %.

различия глубины залегания грунтовых вод соответствуют различиям абсолютных высот рельефа:

| Скважина | № 97 | № 1 | № 2 | № 93 | № 95 |
|----------------|------|------|------|------|------|
| ГЗУГВ, м | 7.55 | 6.01 | 4.56 | 4.18 | 4.53 |
| (зима/лето) | 7.62 | 6.27 | 4.69 | 4.54 | 4.87 |
| Абс. высота, м | 166 | 155 | 144 | 136 | 124 |

Внутрисезонный диапазон изменений глубины максимален в лесном массиве с преобладанием хвойных пород – от 0.22 до 0.80 м, в остальных случаях составляет 0.12–0.15 м при стандартном отклонении менее 0.10 м. Внутрисезонный ход ГЗУГВ отличается заметной синхронностью в пределах лесных участков (с коэффициентами корреляции 0.73–0.87) и отсутствием тесной взаимосвязи динамики уровней на лесных участках и открытом пространстве. Близко расположенные, в пределах одного квартала, скважины в лесном массиве с преобладанием хвойных пород различаются значениями ГЗУГВ на 1.5–1.8 м.

Наибольшие различия сезонных многолетних значений ГЗУГВ отмечены в лесном массиве с преобладанием хвойных пород, в скважинах № 1 и 2 в диапазоне 0.22–0.80 м в холодный и теплый периоды. Для средне- и тяжелосуглинистых почв в лесном массиве с преобладанием лиственных по-

род и на открытом пространстве сезонные различия многолетних изменений ГЗУГВ составляют 0.12 и 0.15 м (рис. 4, табл. 3).

Стандартное отклонение многолетнего хода ГЗУГВ изменяется от 0.02 до 0.15 м без существенных сезонных различий; устойчивое многолетнее значимое повышение глубины залегания отмечено только на скважине № 2 в лесном массиве с преобладанием хвойных пород (см. рис. 4, табл. 3).

Влияние характеристик снегонакопления и метеорологического режима на динамику грунтовых вод

Анализ зависимости многолетней изменчивости ГЗУГВ холодного и теплого периодов года от характера снегонакопления проводился с применением множественной регрессии, где в качестве предикторов приняты средняя приземная температура воздуха, количество дней со снежным покровом и средние за снежный период величины снегозапасов. Средние сезонные осадки в качестве предиктора регрессионных уравнений не привлекались ввиду малой корреляции их хода с динамикой УГВ (коэффициенты менее 0.3) вследствие аккумуляции значительной части осадков в снежной толще. По той же причине в регрессионном анализе не рассматривались максимальные сезон-

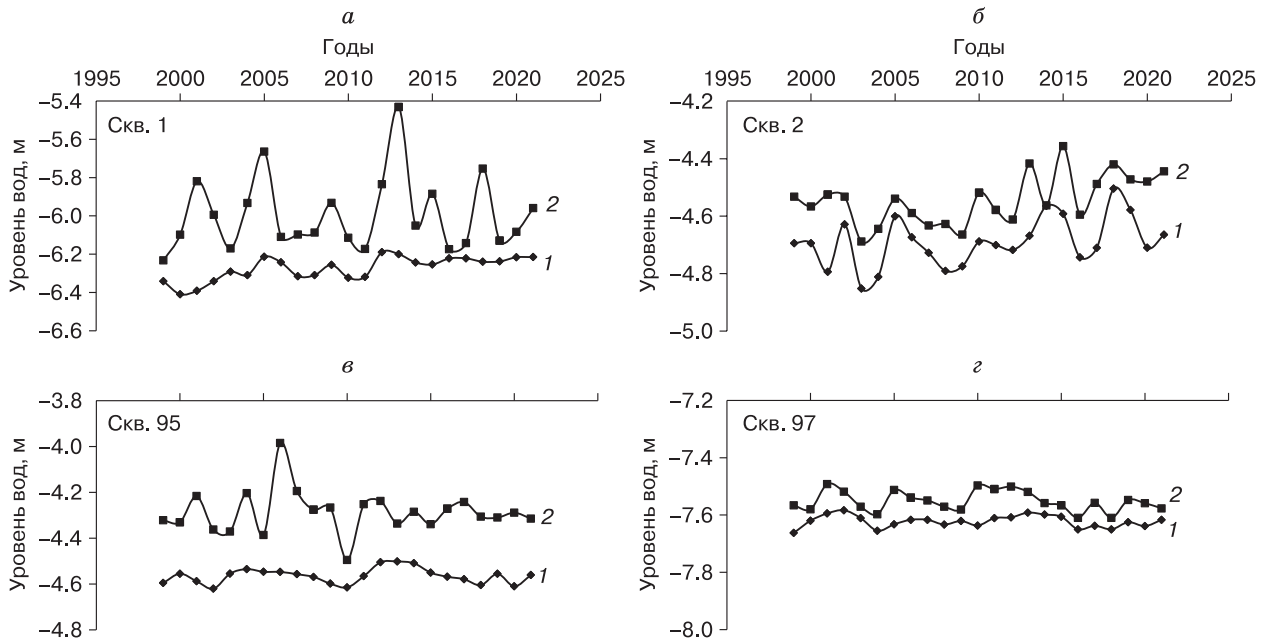


Рис. 4. Многолетние изменения глубины залегания уровня грунтовых вод в холодный (1) и теплый (2) периоды года в лесах с преобладанием хвойных пород (а, б) на открытом пространстве (в), в лесах с преобладанием лиственных пород (г).

Таблица 3. Многолетняя изменчивость глубины залегания уровней грунтовых вод в холодный и теплый периоды года

| Территория | Номер скважины | Среднее, м | Стандартное отклонение, м | Коэффициенты линейного тренда, м/10 лет |
|--|----------------|---------------|---------------------------|---|
| Лесные массивы с преобладанием хвойных пород, квартал 3б | 1 | -6.27 / -6.01 | 0.06 / 0.15 | 0.068 / 0.024 |
| | 2 | -4.69 / -4.56 | 0.08 / 0.09 | 0.053 / 0.066 |
| | 93 | -4.58 / -4.54 | 0.03 / 0.04 | 0.002 / 0.004 |
| Лесные массивы с преобладанием лиственных пород, квартал 4 | 97 | -7.62 / -7.55 | 0.02 / 0.04 | -0.003 / -0.001 |
| Открытые пространства, квартал 3а | 95 | -4.57 / -4.53 | 0.03 / 0.04 | -0.002 / -0.007 |

Примечание. Курсивом выделены коэффициенты линейного тренда, незначимые на уровне 95 %. Числитель – зима, знаменатель – лето.

ные снегозапасы: в связи со сравнительно короткой продолжительностью периода максимумов (не более 10 дней в конце марта–начале апреля) их значимость, по-видимому, скрадывается инерционностью в изменчивости ГЗУГВ.

Как показывают данные табл. 4, коэффициенты регрессии повсеместно невелики, но значимы, преобладающим фактором изменений ГЗУГВ в холодный и теплый периоды года по значениям бета-коэффициентов выступает многолетняя динамика снегозапасов. Диапазон различий тесноты связей многолетних изменений характеристик невелик: 0.434–0.624 для коэффициентов регрессии и 0.020–0.081 для бета-коэффициентов многолетнего хода снегозапасов; систематических закономерностей в распределении коэффициентов не наблюдается.

Степень влияния динамики приземной температуры воздуха на изменчивость ГЗУГВ дополнительно уточнялась путем анализа внутрисезонного распределения оттепелей. Оттепелью принято считать повышение приземной температуры воздуха до 0 °С и выше на фоне установившихся отрицательных температур, чаще всего в результате адвекции теплого воздуха. При этом за период с отрицательными значениями приземной температуры воздуха принимается его продолжительность не менее пяти дней подряд, что соответствует естественному синоптическому периоду, в течение которого развиваются устойчивые погодные процессы.

В данном случае для периода со снежным покровом с декабря по апрель рассчитывались: 1) общая продолжительность оттепелей в днях и сумма приземной температуры; 2) общая продолжитель-

Таблица 4. Регрессионная зависимость многолетней изменчивости уровня грунтовых вод холодного и теплого периодов года от изменчивости метеорологических характеристик холодного периода

| Территория | Номер скважины | Коэффициент регрессии | Бета-коэффициенты | | |
|---|----------------|-----------------------|-------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| | | | Снегозапасы | Количество дней со снежным покровом | Температура воздуха |
| Лесные массивы с преобладанием хвойных пород | 1 | 0.445/0.466 | 0.020/0.044 | <i>-0.003 / -0.002</i> | <i>0.005 / 0.002</i> |
| | 2 | 0.463/0.624 | 0.021/0.020 | <i>-0.018 / -0.025</i> | <i>0.004 / -0.018</i> |
| | 93 | 0.443/0.434 | 0.029/0.081 | <i>-0.004 / -0.002</i> | <i>0.006 / -0.002</i> |
| Лесные массивы с преобладанием лиственных пород | 97 | 0.509/0.441 | 0.047/0.046 | <i>-0.003 / -0.004</i> | <i>0.025 / -0.011</i> |
| Открытые пространства | 95 | 0.527/0.459 | 0.022/0.032 | <i>-0.005 / 0.021</i> | <i>0.024 / 0.006</i> |

Примечание. Курсивом выделены коэффициенты, незначимые на уровне 95 %.

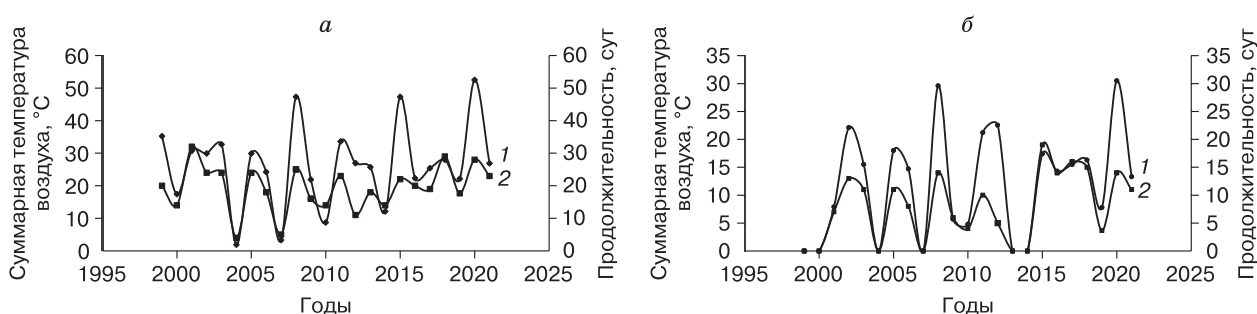


Рис. 5. Характеристики оттепелей продолжительностью в один (а) и более пяти (б) дней.

1 – суммарная за период оттепелей приземная температура воздуха; 2 – продолжительность оттепелей в днях.

ность и сумма температуры воздуха для оттепелей в пять и более дней подряд (рис. 5). В первом случае для суммы температур и продолжительности оттепелей максимумы составляют 52.5 °C и 32 дня при средних значениях 26.3 °C и 19 дней. Во втором случае максимумы за период составляют 31.2 °C и 19 дней при средних 12.0 °C и 8 дней (см. рис. 5). Значимые тренды многолетних изменений для рассмотренных характеристик не выявлены; хотя, по данным И.В. Грищенко [2019], в Архангельской области в период 1975–2017 гг. отмечено увеличение продолжительности оттепелей с коэффициентами линейного тренда, достигающими 1.1–3.1 сут/10 лет.

Значимых регрессионных зависимостей многолетних колебаний ГЗУГВ от указанных характеристик оттепелей на территории Заповедника также выявлено не было, коэффициенты корреляции не превышают 0.35. Можно предполагать, что в связи с теплоизолирующими свойствами снега и инерционностью изменений ГЗУГВ реакция глубины залегания воды на относительно короткие оттепели сглаживается во времени и более сильно проявляется влияние снегозапасов, динамика которых, очевидно, определяется изменчивостью приземной температуры воздуха.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для метеорологических условий, соответствующих зональным особенностям климата, оценен характер пространственных и временных изменений уровня грунтовых вод: глубины залегания изменяются от 7.62–7.55 до 4.57–4.53 м, в наиболее высокой и низкой точках Приокско-Террасного заповедника соответственно. Внутрисезонный диапазон изменений максимален на легких суглинках 0.22–0.80 м, в остальных случаях (на средне- и тяжелосуглинистых почвах) диапазон невелик 0.12–0.15 м при стандартном отклонении не более 0.15 м. Значимые многолетние тенденции в изменчивости глубины залегания уровня грунтовых вод отсутствуют, аналогично изменениям приземной температуры почвы, осадков и снегозапасов.

Анализ множественной регрессии многолетних изменений характеристик как для холодного, так и для теплого периодов года выявил в качестве основного фактора изменений глубины залегания уровней грунтовых вод динамику средних за сезон снегозапасов. Тесной связи ГЗУГВ с продолжительностью залегания снежного покрова и его сезонными максимумами не обнаружено, что связано, по-видимому, с инерционностью в изменчивости грунтовых вод. Значимой зависимости ди-

намики грунтовых вод от хода приземной температуры воздуха также не наблюдается.

Дополнительное исследование характеристик оттепелей – общего количество дней с температурой выше 0 °С и суммой температур воздуха за это время – также не выявило их значимого влияния на состояние грунтовых вод. Можно предположить, что в связи с теплоизолирующими свойствами снега и сезонной инерционностью изменчивости глубины залегания уровня грунтовых вод их реакция на короткопериодные изменения приземной температуры воздуха внутри сезона сглаживается во времени и более адекватно проявляется влияние снегозапасов, динамика которых зависит от изменчивости температуры воздуха.

Полученные регрессионные связи многолетней динамики снегозапасов и глубины залегания уровня грунтовых вод при наличии зимнего промерзания почвы можно считать возможными, поскольку температура почвы в период с устойчивым покровом меняется в диапазоне +1...–1 °С на глубине до 40 см и остается положительной на глубине до 80 см [Китаев и др., 2017]. При этом на территории Заповедника и на метеорологических станциях Восточно-Европейской равнины ледяная корка на поверхности почвы, препятствующая в зимний период фильтрации воды в почву, фиксируется не всегда и не везде. Анализ многолетних данных водно-балансовых станций Росгидромета показывает, что в бассейне Волги непосредственно перед снеготаянием запасы влаги в почве значительно возрастают по сравнению с предзимним периодом за счет зимних оттепелей [Лавров, Каложный, 2016]. В качестве одной из причин повышения в последние десятилетия уровня грунтовых вод в центральной части бассейна р. Дон упоминаются благоприятные условия для фильтрации воды в зимний и весенний периоды, связанные со слабым промерзанием почв в последние 15 лет и с исчезновением, в результате так называемого запирающего слоя в почве [Журавин и др., 2020]. В период потепления для центра Восточно-Европейской равнины экспериментальными исследованиями подтверждена возможность пополнения грунтовых вод почвенной влагой в январе [Каложный, Лавров, 2012а]. Кроме того, хотя на территории Заповедника статистическая значимость приземной температуры воздуха для сезонной и многолетней динамики уровней грунтовых вод не подтверждена, именно температурный режим в условиях потепления определяет увеличение количества оттепелей и объемов талых вод, интенсивность водообмена с подземной составляющей речного стока и увеличение объемов зимней межени [Научно-прикладной справочник..., 2021; Фролова и др., 2022].

Тем не менее заметим, что полученные выводы имеют некоторую долю неопределенности: коэффициенты регрессии значимы, но недостаточно

высоки, остальные доводы не в полной мере обеспечены результатами количественного анализа, но в целом в данном случае признаки зависимости колебаний глубины залегания уровня грунтовых вод от изменчивости снегозапасов можно считать обоснованными. Имеющиеся неопределенности выводов могут быть, в частности, сняты посредством инструментальных наблюдений за сезонными изменениями влажности почвы.

Полученные результаты дополняют результаты исследований взаимосвязи изменчивости характеристик снежного покрова и глубины залегания грунтовых вод в условиях современного метеорологического режима и могут быть использованы для уточнения особенностей региональных процессов водообмена.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке темы FMWS-2024-0001 “Изменения климата, их причины и последствия для окружающей среды и жизнедеятельности населения на территории России” Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук.

Литература

- Вершинина Л.К.** Оценка потерь талых вод и прогнозы объема стока половодья (в равнинных районах Европейской территории СССР) / Л.К. Вершинина, О.И. Крестовский, И.Л. Каложный, К.К. Павлова. Л., Гидрометеоиздат, 1985, 189 с.
- Гриневский С.О.** Гидрогеодинамическое моделирование взаимодействия подземных и поверхностных вод. М., ИНФРА, 2021, 152 с.
- Грищенко И.В.** Тенденции в возникновении оттепелей на территории Архангельской области // Гидрометеорол. исслед. и прогнозы, 2019, № 1 (371), с. 119–126.
- Джамалов Р.Г.** Водные ресурсы бассейна Дона и их экологическое состояние / Р.Г. Джамалов, М.Б. Киреева, А.Е. Косолапов, Н.Л. Фролова. М., ГЕОС, 2017, 205 с.
- Журавин С.А., Марков М.Л., Гуревич Е.В.** Многолетние изменения процессов влагооборота по данным водно-балансовых станций в центральной части бассейна р. Дон // Водн. ресурсы, 2020, т. 47, № 6, с. 729–741.
- Каложный И.Л., Лавров С.А.** Гидрофизические процессы на водосборе: Экспериментальные исследования и моделирование. СПб., Нестор–История, 2012а, 616 с.
- Каложный И.Л., Лавров С.А.** Основные физические процессы и закономерности формирования зимнего и весеннего стока рек в условиях потепления климата // Метеорология и климатология, 2012б, № 1, с. 68–81.
- Кислов А.В.** Климатология: учеб. для учреждений высш. проф. образования. М., Изд. центр Академия, 2011, 224 с.
- Китаев Л.М., Аблеева В.А., Асаинова Ж.А. и др.** Сезонная динамика температуры воздуха, снегозапасов и промерзания почвы в центральной части Восточно-Европейской равнины // Лед и снег, 2017, т. 57, № 4, с. 518–526.
- Куделин Б.И.** Принципы региональной оценки естественных ресурсов подземных вод. М., Изд-во Моск. ун-та, 1960, 344 с.
- Лавров С.А., Каложный И.Л.** Влияние климатических изменений на сток весеннего половодья и факторы его формирования в бассейне Волги // Вод. хоз-во России, 2016, № 6, с. 42–60.

- Лавров С.А., Марков М.Л.** Оценка влияния атмосферного давления на уровень и сток грунтовых вод // Инж. изыскания, 2018, т. XII, вып. 2, № 11–12, с. 44–51.
- Ланге О.К.** Геоморфология и грунтовые воды // Тр. Лаборатории гидрогеол. проблем им. Ф.П. Саваренского АН СССР, 1949, т. 2, с. 72–80.
- Ланге О.К.** Гидрогеология. М., Высш. шк., 1969, 365 с.
- Наставления** гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, ч. I. Метеорологические наблюдения на станциях. Л., Гидрометеиздат, 1985, 301 с.
- Наставление** гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 8. Гидрометеорологические наблюдения на болотах. Л., Гидрометеиздат, 1990, 360 с.
- Научно-прикладной справочник.** Многолетние изменения элементов водного баланса на водно-балансовых и болотных станциях / Под ред. М.Л. Маркова. СПб., ООО «РИАЛ», 2021, 202 с.
- Русаленко А.И.** Глубина залегания и амплитуда колебания уровня грунтовых вод в лесных фитоценозах // Тр. БГТУ. Сер. I. Лесн. хоз-во, 2008, вып. XVI, с. 243–247.
- Шестаков В.М.** Геогидрология / В.М. Шестаков, С.П. Поздняков. М., Академкнига, 2003, 173 с.
- Фролова Н.Л., Магрицкий Д.В., Киреева М.Б. и др.** Сток рек России при происходящих и прогнозируемых изменениях климата: обзор публикаций. 1. Оценка изменений водного режима рек России по данным наблюдений // Вод. ресурсы, 2022, т. 49, № 3, с. 251–269.
- Чендев Ю.Г., Тишков А.А., Савин И.Ю. и др.** Реакция почв и других компонентов природной среды на климатические изменения разной периодичности на юге Среднерусской возвышенности // Изв. РАН. Сер. геогр., 2020, т. 84, № 3, с. 427–440.
- References**
- Vershinina L.K., Krestovskij O.I., Kalyuzhnyj I.L., Pavlova K.K. Ocenka poter' talyh vod i prognozy ob'ema stoka polovod'ja (v ravninnyh rajonah Evropejskoj territorii SSSR) [Estimation of meltwater losses and forecasts of the volume of flood runoff (in equal coverage of the territory of the USSR)]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1985, 189 p. (in Russian).
- Grinevskij S.O. Gidrogeodinamicheskoe modelirovanie vzaimodejstviya podzemnyh i poverhnostnyh vod [Hydrogeodynamic modeling of the interaction of underground and surface waters]. Moscow, INFRA, 2021, 152 p. (in Russian).
- Grishhenko I.V. Trends in the occurrence of thaws in the Arkhangelsk region. Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy [Hydrometeorological research and forecasts], 2019, No. 1 (371), p. 119–126.
- Dzhamalov R.G., Kireeva M.B., Kosolapov A.E., Frolova N.L. Vodnye resursy bassejna Dona i ih jekologicheskoe sostojanie [Water resources of the Don basin and their ecological state]. Moscow, GEOS, 2017, 205 p. (in Russian).
- Zhuravin S.A., Markov M.L., Gurevich E.V. Long-term changes in the processes of moisture circulation according to the materials of water balance stations in the central part of the Don river basin. Vodnye resursy [Water resources], 2020, No. 47 (6), p. 729–741.
- Kaljuzhnyj I.L., Lavrov S.A. Gidrofizicheskie processy na vodosbore: Jeksperimental'nye issledovaniya i modelirovanie [Hydrophysical processes over the watershed: Experimental studies and modeling]. St. Petersburg, Nestor–History, 2012a, 616 p. (in Russian).
- Kaljuzhnyj I.L., Lavrov S.A. The main physical processes and regularities of the of winter and spring river runoff formation in the climate warming conditions. Meteorologija i klimatologija [Meteorology and climatology], 2012b, No. 1, p. 68–81.
- Kislov A.V. Klimatologija: uchebnik dlja uchrezhdenij vysshego professional'nogo obrazovanija [Climatology: a textbook for institutions of higher professional education]. Moscow, Publishing Center of Academy, 2011, 224 p. (in Russian).
- Kitaev L.M., Ableeva V.A., Asainova Zh.A. et al. Seasonal dynamics of air temperature, snow storage and soil freezing in the central part of the East European Plain. Led i sneg [Ice and Snow], 2017, vol. 57 (4), p. 518–526.
- Kudelin B.I. Principy regional'noj ocenki estestvennyh recurciv podzemnyh vod [Principles of regional assessment of natural groundwater resources]. Moscow, Moscow Univ. Press, 1960, 344 p. (in Russian).
- Lavrov S.A., Kaljuzhnyj I.L. Impact of climate change on spring flood runoff and factors of its formation in the Volga basin. Vodnoe hozjajstvo Rossii [Water industry in Russia], 2016, No. 6, p. 42–60.
- Lavrov S.A., Markov M.L. Assessment of the impact of atmospheric pressure on the level and runoff of groundwater. Inzhenernye izyskanija [Engineering surveys], 2018, vol. XII (2), No. 11–12, p. 44–51.
- Lange O.K. Geomorphology and underground water. Trudy Laboratorii gidrogeologicheskix problem im. F.P. Savarenского, AN SSSR [Proceedings of the Laboratory of Hydrogeological Problems named after F.P. Savarinsky, Academy of Sciences of the USSR], 1949, No. 2, p. 72–80.
- Lange O.K. Gidrogeologija [Hydrogeology]. Moscow, Vyshaya shkola, 1969, 365 p. (in Russian).
- Nastavlenija gidrometeorologicheskim stancijam i postam. Vypusk 3. Chast' I. Meteorologicheskie nabljudeniya na stancijah [Guidelines for hydrometeorological stations and posts. Issue 3. Part I. Meteorological observations at stations]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1985, 301 p. (in Russian).
- Nastavlenie gidrometeorologicheskim stancijam i postam. Vypusk 8. Gidrometeorologicheskie nabljudeniya na bolotah [Guidelines for hydrometeorological stations and posts. Issue 8. Hydrometeorological observations in swamps]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1990, 360 p. (in Russian).
- Nauchno-prikladnoj spravocchnik. Mnogoletnie izmeneniya jelementov vodnogo balansa na vodnobilansovyh i bolotnyh stancija. Scientific and Applied [Handbook of long-term changes in water balance elements at water-balance and bog stations. M.L. Markov (ed.)]. St. Petersburg, ООО «РИАЛ», 2021, 202 p. (in Russian).
- Rusalenko A.I. Depth and amplitude of groundwater level fluctuations in forest phytocenoses. Trudy BGTU. Seriya I. Lesnoe xozyajstvo [Proceedings of BSTU. Series I. Forestry], 2008, vol. XVI, p. 243–247 (in Russian).
- Shestakov V.M., Pozdnyakov S.P. Geogidrologiya [Geohydrology]. Moscow, Akademkniga, 2013, 173 p. (in Russian).
- Frolova N.L., Magriczkij D.V., Kireeva M.B. et al. Runoff of Russian rivers under ongoing and predicted climate changes: a review of publications. 1. Assessment of changes in the water regime of Russian rivers based on observational data. Vodnye resursy [Water resources], 2022, vol. 49 (3), p. 251–269.
- Chendev Yu.G., Tishkov A.A., Savin I.Yu. et al. Response of soils and other components of the natural environment to climatic changes of different periodicity in the south of the Central Russian Upland. Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya [Annals of RAS. Geographical series], 2020, vol. 84 (3), p. 427–440.

*Поступила в редакцию 10 мая 2023 г.,
после доработки – 19 февраля 2024 г.,
принята к публикации 13 апреля 2024 г.*