

ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ И НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВАЯ ГЕОЛОГИЯ,
ГЕОФИЗИКА, МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО И ГЕОМЕТРИЯ НЕДР

Научная статья

УДК 556.3+556.5

EDN: FXZJSX

DOI: 10.21285/2686-9993-2025-48-2-224-236

Условия формирования природных вод в долине реки Янцзы
и на прилегающих территориях (Китай)А.А. Сумкин^{a,✉}, Ч. Чэнь^b, Я.С. Гнатюк^c, Л.И. Аузина^d, Ю. Чжан^e^{a,c,d}Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия^bНанкинский педагогический университет, Нанкин, Китай^eНанкинский университет, Нанкин, Китай

Резюме. Целью исследования являлось изучение условий формирования природных вод восточной части Южно-Китайской платформы в зоне влияния субдукции под воздействием эндогенных и экзогенных процессов природного и техногенного генезисов. Полученный в ходе проведенной работы материал позволяет проанализировать структуру хозяйственно-питьевого водоснабжения в восточных регионах Китая, доступность и качество водных ресурсов. Актуальность исследования заключается в том, что в настоящее время страна испытывает острый дефицит пресной воды, который обусловлен рядом причин, в том числе экономическим ростом, индустриализацией, развитием городов, интенсивным (часто нерегулируемым) использованием водных ресурсов в сельском хозяйстве и промышленности разного типа, а также загрязнением, вызванным чрезмерной эвтрофикацией. Одним из путей решения проблемы водоснабжения являются осмысление условий формирования природных вод и анализ динамики режимобразующих факторов, которые включают в себя природно-климатические, геолого-структурные, техногенные характеристики, определяющие различные элементы водного баланса региона. На основе структурно-гидрогеологического анализа предложены рекомендации, направленные на оптимизацию структуры водоснабжения, рациональное использование поверхностных и подземных вод. Результаты проведенного анализа могут являться основой для дальнейших исследований, имеющих своей целью разработку эффективной стратегии управления водными ресурсами провинций Цзянсу, Аньхой, Чжецзян.

Ключевые слова: Китай, водоснабжение, подземные воды, поверхностные воды, структурно-гидрогеологическое районирование

Для цитирования: Сумкин А.А., Чэнь Ч., Гнатюк Я.С., Аузина Л.И., Чжан Ю. Условия формирования природных вод в долине реки Янцзы и на прилегающих территориях (Китай) // Науки о Земле и недропользование. 2025. Т. 48. № 2. С. 224–236. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2025-48-2-224-236>. EDN: FXZJSX.

APPLIED MINING AND PETROLEUM FIELD GEOLOGY,
GEOPHYSICS, MINE SURVEYING AND SUBSOIL GEOMETRY

Original article

Formation conditions of natural waters in the Yangtze river valley
and its adjacent territories, ChinaAndrei A. Sumkin^{a,✉}, Zhangchi Chen^b, Iana S. Gnatyuk^c, Larisa I. Auzina^d, Yongzhan Zhang^e^{a,c,d}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia^bNanjing Normal University, Nanjing, China^eNanjing University, Nanjing, China

Abstract. The purpose of the research is to study the formation conditions of natural waters of the eastern part of the South China Platform in the subduction influence zone under the effect of endogenous and exogenous processes of natural and man-made genesis. The material obtained during the study enables the analysis of the structure of domestic drinking water supply in the eastern regions of China as well as the availability and quality of water resources. The relevance of the study is determined by the fact that the country is currently suffering an acute shortage of fresh water, which is caused by a number of reasons, including economic growth, industrialization, urban development, intensive (often uncontrolled) use of water resources in agriculture and industry of various types, as well as pollution caused by excessive eutrophication.

© Сумкин А.А., Чэнь Ч., Гнатюк Я.С., Аузина Л.И., Чжан Ю., 2025



One of the solutions of the water supply problem is understanding of the formation conditions of natural waters and analysis of the dynamics of regime-forming factors. The latter include natural, climatic, geological, structural, and man-made characteristics that determine various elements of the regional water balance. Based on the structural and hydrogeological analysis, recommendations are proposed in order to optimize the structure of water supply and provide rational use of surface and groundwater. The results of the conducted analysis can serve the basis for further research aimed at developing an effective water resources management strategy in Jiangsu, Anhui, and Zhejiang provinces.

Keywords: China, water supply, groundwater, surface water, structural-hydrogeological zoning

For citation: Sumkin A.A., Chen Zh., Gnatyuk I.S., Auzina I.L., Zhang Y. Formation conditions of natural waters in the Yangtze river valley and its adjacent territories, China. *Earth sciences and subsoil use*. 2025;48(2):224-236. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2025-48-2-224-236>. EDN: FXZJSX.

Введение

26 октября – 9 ноября 2024 г. состоялась международная научно-практическая экспедиция с участием студентов и сотрудников Нанкинского университета (Китай) и института «Сибирская школа геонаук» Иркутского национального исследовательского технического университета (Россия). Работы проводились в восточной части Китая, охватывая дельту реки Янцзы и прилегающие территории. Общая протяженность пути составила 1165 км, было пройдено 14 маршрутов. Исследование включало 42 точки наблюдения. Объектами стали вулканические структуры, реки, озера, водохранилища, источники подземных вод (ПВ) различной температуры и состава, гравитаци-

онные процессы (осыпи, оползни), карстовые образования, высокогорные зоны трещиноватости экзогенного и тектонического генезиса.

Одним из основных объектов исследования явились природные воды (21 точка наблюдения) (рис. 1), формирование которых тесно связано с эндогенными и экзогенными процессами природного и техногенного характера, протекающими в юго-восточной части Южно-Китайского кратона в зоне влияния субдукции. Полученный в процессе экспедиции, а также из архивных и литературных источников материал позволил проанализировать структуру хозяйственно-питьевого водоснабжения в восточных регионах Китая, доступность и качество водных ресурсов.

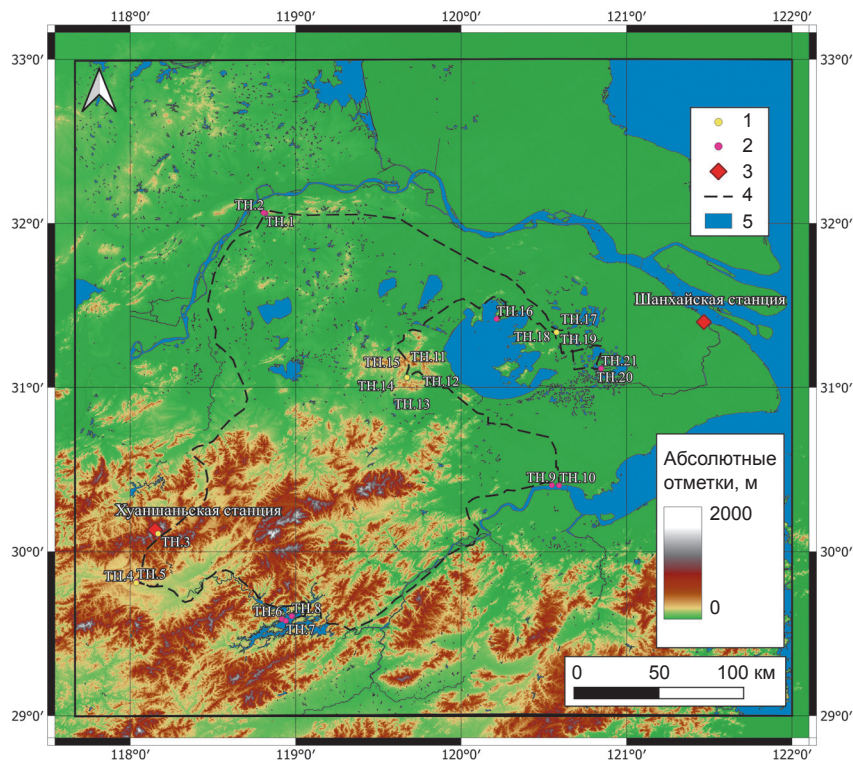


Рис. 1. Карта фактического материала исследования:

1 – мониторинговые станции; 2 – точки отбора проб подземных вод; 3 – точки отбора проб поверхностных вод; 4 – абрис движения экспедиции; 5 – водные объекты

Fig. 1. Map of actual research material:

1 – monitoring stations; 2 – groundwater sampling points; 3 – surface water sampling points; 4 – expedition route outline; 5 – water bodies



Целью исследования являлось изучение условий формирования природных вод восточной части Южно-Китайского плато с последующей оценкой структуры хозяйственно-питьевого водоснабжения некоторых регионов восточной части Китая, находящихся в различных геолого-структурных условиях. Это связано с тем, что в настоящее время страна испытывает острый дефицит пресной воды [1], обусловленный рядом причин, в том числе экономическим ростом, индустриализацией, развитием городов [2, 3], интенсивным, часто нерегулируемым, использованием водных ресурсов в сельском хозяйстве и промышленности, а также загрязнением, вызванным чрезмерной эвтрофикацией [4].

Одной из причин нехватки воды является истощение водных ресурсов преимущественно из-за интенсивной урбанизации. В 2023 г. в городах Китая проживало около 66,2 % от общего числа населения. В 400 городах (на 2022 г.) недостаточно воды необходимого качества, в крупных городах на 1 человека приходится менее 500 м³/год, то есть меньше критического показателя, установленного Всемирным водным конгрессом в 1977 г. К примеру, в Пекине этот показатель составляет 128 м³/чел, в Тяньцзыне – 105 м³/чел в год [5].

Еще одна причина водного дефицита – это нерациональное использование и чрезмерная эксплуатация ПВ. В конце прошлого века в целях хозяйственно-питьевого водоснабжения за счет ПВ на востоке Китая одновременно эксплуатировалось около 2 млн скважин, при этом уровень ПВ на территории Шанхая снизился на 20 м, воронка депрессии достигла океана, началась инфильтрация соленых вод Тихого океана в водоносные горизонты, которые используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения¹. Поверхность в некоторых местах города начала проседать [6].

В 2021 г. Министерство водных ресурсов Китая выделило более 150 зон с чрезмерной эксплуатацией водных ресурсов (Хэбэй, Шаньдун, Хэнань, Синьцзян и др.). К 2030 г. правительство страны предусматривает снижение потребления воды на 5 %². Не менее важным фактором, определившим ограниченность водных ресурсов, является их загрязнение. Водные ресурсы Китая составляют 2876,1 млрд м³, из них более 70 % поверхностных вод, являю-

щихся основным источником водоснабжения, на большей части восточных территорий Китая загрязнены. Годовой сброс в значительной степени неочищенных стоков составляет 63,1 млрд м³/год (86,7 % – результат сельскохозяйственной деятельности, при которой используются химические удобрения, пестициды и другие ядохимикаты) [5]. Существенный вклад вносят предприятия химической, целлюлозно-бумажной, текстильной, угольной промышленности, расположенные в долинах крупных рек в том числе Янцзы (рис. 2). Качество воды на многих водных объектах Китая достигло 4 и 5 степеней загрязнения, при которых водоем утрачивает свою биосферную функцию [5].

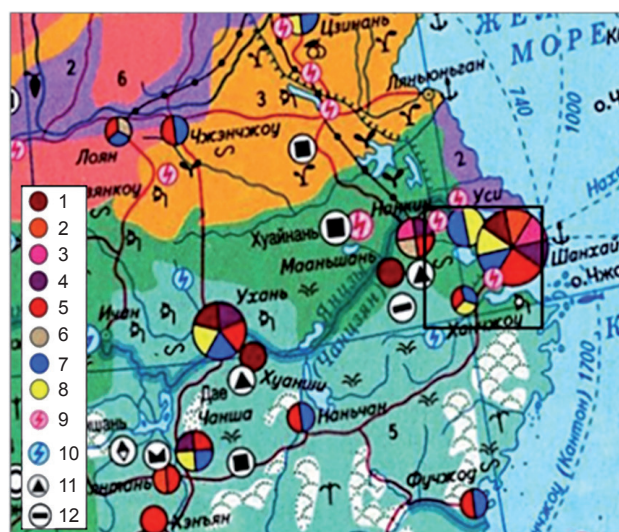


Рис. 2. Обзорная карта расположения наиболее крупных промышленных городов в долине реки Янцзы:

- 1 – черная металлургия; 2 – цветная металлургия;
- 3 – нефтеперерабатывающая промышленность;
- 4 – химическая промышленность;
- 5 – машиностроение и металлообработка;
- 6 – промышленность строительных материалов;
- 7 – текстильная промышленность;
- 8 – пищевая промышленность;
- 9 – тепловые электростанции;
- 10 – гидроэлектростанции;
- 11 – железорудная промышленность;
- 12 – медная промышленность

Fig. 2. Overview map of the location of the largest industrial cities in the Yangtze river valley:

- 1 – ferrous metallurgy; 2 – non-ferrous metallurgy;
- 3 – oil refining industry; 4 – chemical industry;
- 5 – mechanical engineering and metalworking;
- 6 – building materials industry; 7 – textile industry;
- 8 – food industry; 9 – thermal power plants;
- 10 – hydroelectric power plants; 11 – iron ore industry;
- 12 – copper industry

¹ Водное хозяйство Китайской Народной Республики: информационный сборник. Ташкент: Изд-во НИЦ МКВК, 2013. № 37. 64 с.

² Лю Цин. Механизм формирования и перспективы развития водного рынка: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05. М., 2015. 156 с.



При этом контроль за использованием водных ресурсов затруднен, поскольку он осуществляется различными государственными департаментами, в частности, за загрязнение воды отвечают природоохранные органы, структура водоснабжения входит в зону ответственности Министерства водного хозяйства, очисткой сточных вод занимается Министерство строительства, регулирование использования ПВ находится в ведении Министерства земель и ресурсов.

Материалы и методы исследования

Исходные данные были получены в процессе экспедиционных работ при гидрогеологических замерах и опробовании ПВ и поверхностных вод с использованием портативного прибора ProQuatro. Суммарный объем опробования включал в себя 21 объект, в том числе реки, озера, выходы ПВ.

В процессе проведения исследования был проработан значительный объем архивных и литературных источников, содержащих также средневековые данные о количестве атмосферных осадков, полученные на метеорологических станциях Шанхай и Хуаншань, а также на геопортале Китайской геологической службы (англ.: China Geological Survey). Визуализация

исходных данных проводилась с использованием программного комплекса QGIS 3.14.

Результаты исследования и их обсуждение

В процессе обработки исходной информации были выделены основные факторы, определяющие условия формирования и распределения ПВ и поверхностных вод: неотектоническое развитие региона, рельеф, плотность речной сети, геологическое строение, климатические показатели (величины атмосферных осадков, температуры, испарения).

Наиболее значимое влияние на формирование природных условий Восточного Китая, включая водные ресурсы, оказали структурно-тектонические особенности территории, обусловленные ее приуроченностью к восточной части Южно-Китайского блока. Формирование восточной части Китая произошло в результате коллизии Индо-Австралийской и Евразийской плит, начавшейся в палеогене и продолжающейся до настоящего времени, которая привела к деформации верхней части земной коры и образованию основных тектонических и геоморфологических элементов исследуемой территории (см. рис. 2) [7]. Район проведения работ охватывал кратон Янцзы и блок Катайзия, граница между которыми фиксируется разломом Цзянь-Шао (рис. 3).

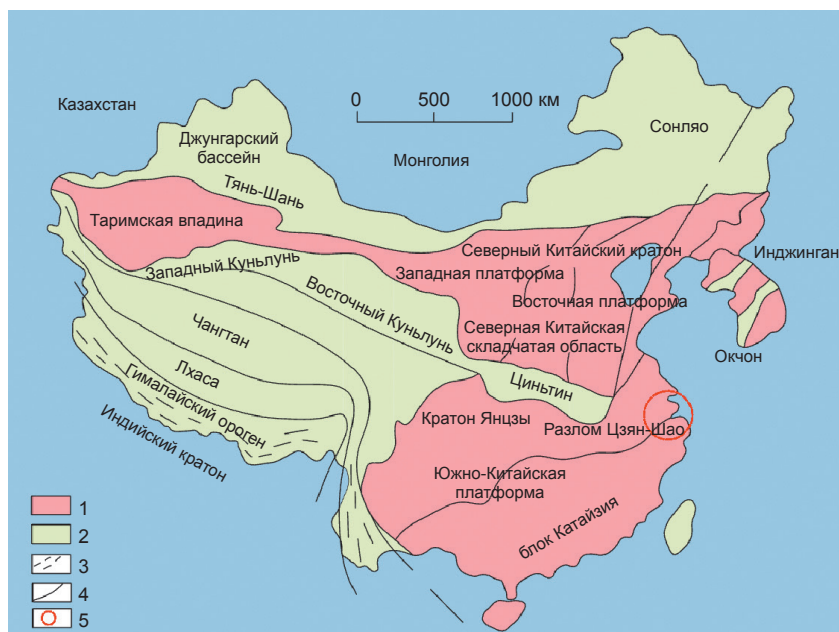


Рис. 3. Схематическая структурно-тектоническая карта Китая [8]:

1 – докембрийская кратоническая плита; 2 – фанерозойская складчатая область; 3 – структурные зоны;
4 – основной разлом; 5 – контур исследуемой площади

Fig. 3. Schematic structural-tectonic map of China [8]:

1 – Pre-Cambrian cratonic plate; 2 – Phanerozoic folded area; 3 – structural zones; 4 – main fault;
5 – outline of the area under investigation



Мегаформы рельефа восточной части Китая преимущественно представляют собой два типа: равнину среднего и нижнего течения реки Янцзы (южная часть Великой Китайской равнины) и горный пояс (горы) Хуаншань³, изменяясь с высокогорного запада к восточному низменному морскому побережью (см. рис. 1).

В целом положение территории над уровнем моря колеблется от 5–50 до 1864 м (пик Лотоса, гора Хуаншань). Резкорасчлененный рельеф исследуемой территории контролирует области и интенсивность питания и разгрузки природных вод.

Следующий немаловажный фактор – это атмосферные осадки, определяющие объем, динамику питания и, в значительной степени, химический состав воды. Количество выпадающих атмосферных осадков на равнине и в горноскладчатой области различно. В ходе работы использовались результаты наблюдений на двух метеорологических станциях, одной из которых является Шанхайская, находящаяся на равнинной территории среднего и нижнего течения реки Янцзы (см. рис. 1), где осадки не превышают 1250 мм/год (рис. 4). При продвижении на запад под влиянием горных барьеров

происходит восходящее движение воздушных масс, усиливается конденсация влаги, поэтому количество осадков начинает возрастать, о чем свидетельствуют данные метеонаблюдений на второй метеорологической станции (Хуаншаньской), расположенной в горном поясе (см. рис. 1) и зафиксировавшей значения выпадающих осадков до 2400 мм/год (см. рис. 4). При оценке ресурсов природных вод не менее важны сезонные колебания осадков, максимальное количество которых выпадает в весенне-летний период (май, июнь и июль), минимальное – осенью и зимой (октябрь, ноябрь, декабрь) (см. рис. 2, 3).

Температурный режим также является одним из важнейших факторов, влияющих на формирование водных ресурсов. Для исследуемой территории характерен субтропический климат. Огромную роль здесь играют близость Тихого океана и муссоны [9]. Самые низкие температуры обычно наблюдаются в декабре, январе и в феврале, а самые высокие – в июле и августе.

Летом температура воздуха на территории равнины среднего и нижнего течения реки Янцзы достигает 28–35 °С. Теплые зимы обусловлены защитой горных хребтов от проникновения северных холодных воздушных масс,

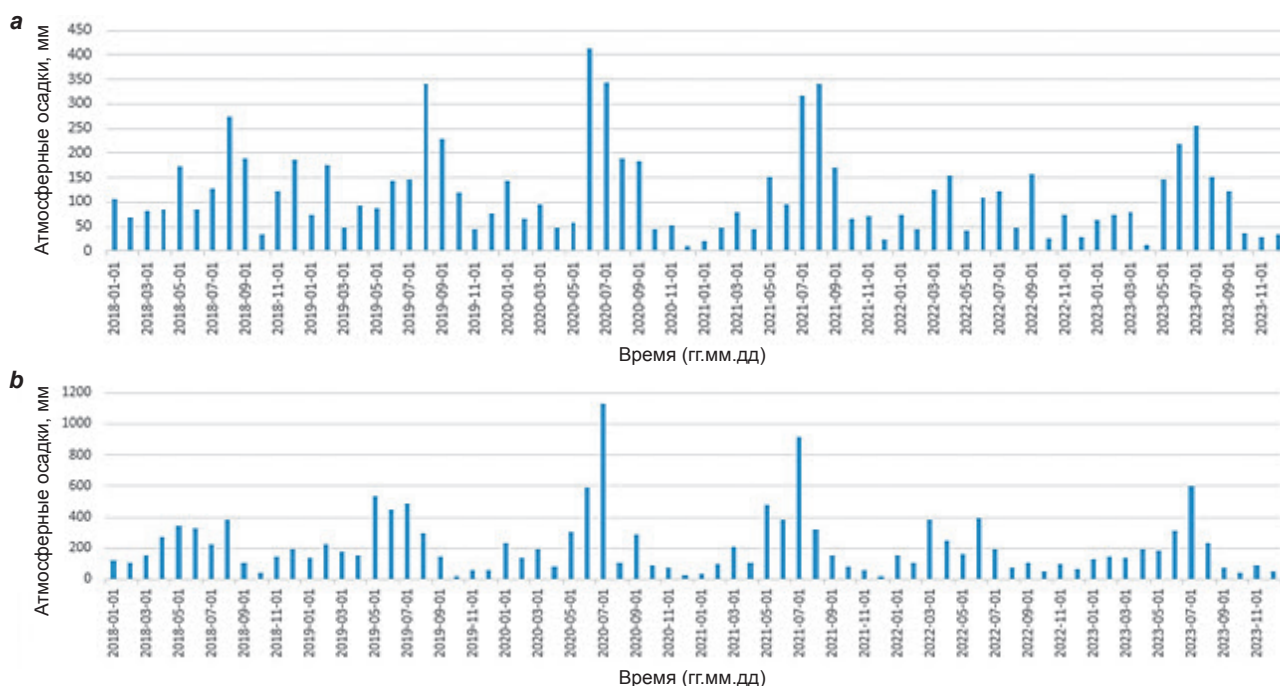


Рис. 4. Внутригодовое распределение количества атмосферных осадков (среднегодовое значения по данным станций за период 2018–2023 гг.):

a – Шанхайская станция; b – Хуаншаньская станция

Fig. 4. Annual distribution of precipitation amount (average long-term values according to station data for the period from 2018 to 2023):

a – Shanghai station; b – Huangshan station

³ Петухов В.Б. География Китая: учеб. пособие. Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2021. 236 с.



средняя температура составляет 3–6 °С. В горном районе Хуаншань температура в летний период равна 18,3–20,8 °С, зимой колеблется от -1,8 до 0,1 °С. Температурные колебания приводят к существенным изменениям в количестве и интенсивности атмосферных осадков и испарения, а также к повышенной температуре ПВ и поверхностных вод.

Речная сеть в основном принадлежит бассейну реки Янцзы. Наиболее крупными притоками являются реки Хуанпу и Циньхуай (рис. 5). В настоящее время поверхностные воды – это основной источник хозяйственно-питьевого водоснабжения населения исследуемого региона. Хуанпу – самая большая река в центральной части Шанхая длиной 113 км, шириной до 400 м и глубиной до 9 м [10]. Основным приток Хуанпу – река Сучжоу-Крик, опробованная в процессе экспедиционных работ. Река Циньхуай протекает по территории городских округов Чжэньцзян и Нанкин провинции Цзянсу, ее длина составляет 36,6 км, площадь водосборного бассейна – 2631 км² [11].

Дельта Янцзы представляет собой один из основных озерных регионов Китая и включает множество небольших озер, прудов, проток и искусственных каналов, в том числе крупнейший в

мире судоходный Великий канал (Grand Canal) длиной 1782 км, а с ответвлениями в Пекин, Ханчжоу и Наньтун – 2470 км. В целом на равнинной территории дельты Янцзы насчитывается более 200 озер общей площадью 3159 км².

Самым крупным озером, которое расположено в пределах исследуемой территории и используется для водоснабжения, является Тайху (см. рис. 5), его длина составляет 68 км, ширина – 35,7 км. Озеро находится на высоте около 3 м над уровнем моря, его средняя глубина – 3,33 м.

В результате анализа имеющегося материала [12–17] составлена краткая характеристика химического состава поверхностных вод, обусловленного преимущественно атмосферными осадками (табл. 1). Химический состав воды в озере Тайху гидрокарбонатно-сульфатный кальциево-магниевый, в озерах исследуемой территории преобладают ультрапресные воды [12]. В Янцзы и ее притоках состав вод аналогичный: гидрокарбонатно-сульфатный кальциевый. Поверхностные воды характеризуются преимущественно нейтральной средой. Химический состав вод меняется в направлении от морского побережья вглубь материка, возрастает минерализация, увеличивается количество иона хлора.

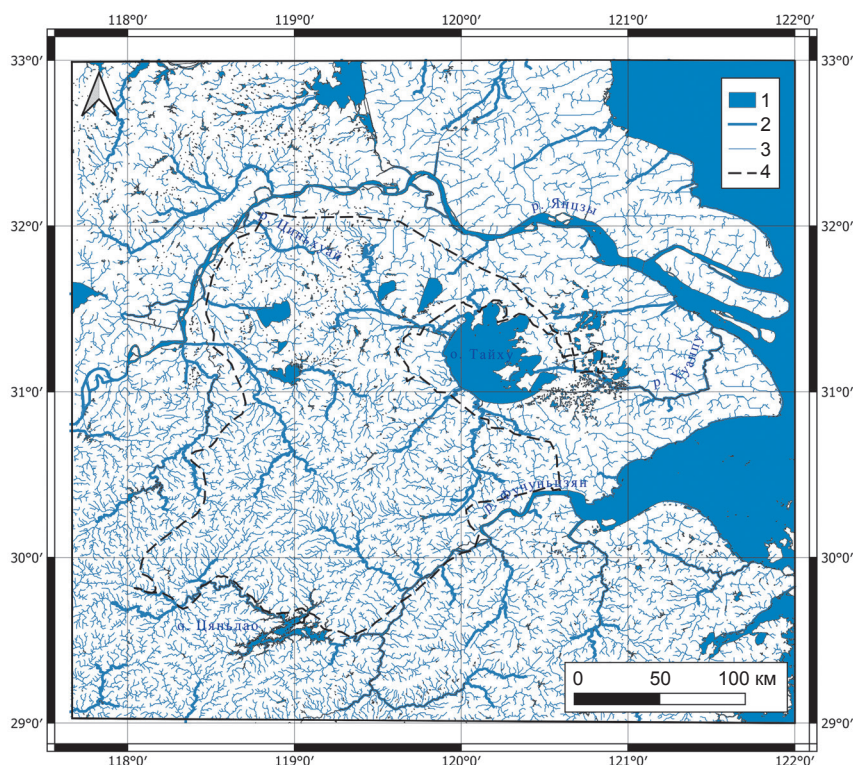


Рис. 5. Схема гидросети восточной территории Китая:

1 – озера; 2 – реки; 3 – водотоки; 4 – абрис движения экспедиции

Fig. 5. Diagram of the hydrographic network of the eastern territory of China:

1 – lakes; 2 – rivers; 3 – watercourses; 4 – expedition route outline



Таблица 1. Характеристика химических показателей поверхностных вод
Table 1. Characteristics of surface water chemical parameters

Показатель	Место отбора проб воды		
	Озеро*	Реки**	Река Фучуньцзян***
Абсолютная высота, м	8–109	3–127	5
Содержание катионов, мг/л:			
K ⁺	5	2,29–9,65	6,95/64,89
Na ⁺	8,7	5,45–23,1	52,43/779,9
Ca ²⁺	48,7	10,7–76,3	10,37/68,25
Mg ²⁺	42,3	3,81–12,4	4,07/67,14
Содержание анионов, мг/л:			
SO ₄ ²⁻	77,1	8,9–119	3,35/107,68
CL ⁻	53,2	6,76–20,3	42,26/1773,8
HCO ₃ ⁻	159,3	51,3–137	124,9/1026
Минерализация, г/дм ³	0,07–0,21	0,18–0,35	0,3/5,6
pH	6,48–7,48	6,15–7,31	7,22
Еh	100,7–288,1	250,8–484	206/3837

Примечание. * – содержание анионов и катионов приведено для озера Тайху; ** – содержание анионов и катионов приведено для реки Янцзы и ее притоков; *** – до прилива морской волны / после прилива морской волны.

Следует подчеркнуть, что поверхностные воды подвержены загрязнению различного характера и требуют усиленного контроля качества, что существенно осложняет их использование для водоснабжения.

Следующий значимый фактор – геологическое строение территории (рис. 6), влияющее как на состав природной воды, так и на ее количество в зависимости от пустотности вмещающих пород. Северная и восточная части представлены терригенными отложениями четвертичного возраста. С силурийского периода до среднего триаса в этом регионе преобладала морская среда осадконакопления, в связи с чем здесь широко развиты карбонатные породы: известняки и доломиты. С позднего триаса до четвертичного периода установилась континентальная обстановка и сформировались осадочные породы: песчаник, аргиллит и пр.

Горноскладчатая юго-западная часть района представлена образованиями палеозойского возраста, прорванными на ряде участков, в том числе на площади расположения гор Хуаншань, гранитными интрузиями, свидетельствующими о продолжающемся процессе формирования горной системы.

Перечисленные выше факторы предопределили формирование структурно-геологических условий территории исследований. Анализ исходного материала о климатических особенностях, структурно-тектонических и геоморфологических условиях позволил выде-

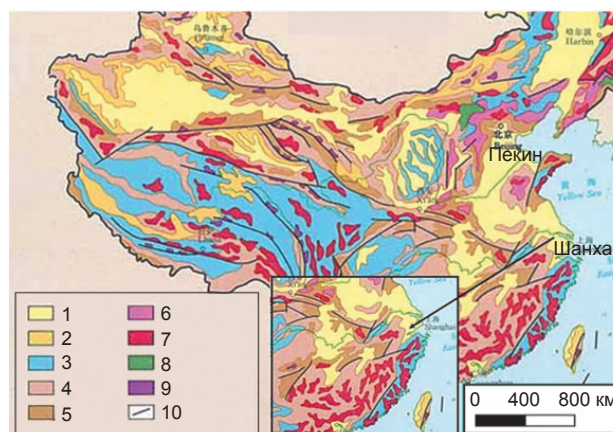


Рис. 6. Геологическая карта Китая
(масштаб 1:200000000)⁴:

1–6 – возраст горных пород: 1 – четвертичный, 2 – неоген – палеоген, 3 – мезозойский, 4 – палеозойский, 5 – протерозойский, 6 – архейский; 7–9 – состав горных пород: 7 – гранит, 8 – базальт, 9 – основные – ультраосновные породы; 10 – разломы

Fig. 6. Geological map of China
(scale 1:200000000)⁴:

1–6 – rock age: 1 – Quaternary, 2 – Neogene – Paleogene, 3 – Mesozoic, 4 – Paleozoic, 5 – Proterozoic, 6 – Archean; 7–9 – rock composition: 7 – granite, 8 – basalt, 9 – basic – ultramafic rocks; 10 – faults

лить основные гидрогеологические структуры: гидрогеологический бассейн, гидрогеологический массив, обводненные разломы (рис. 7).

Гидрогеологический бассейн приурочен к пониженным участкам рельефа, располагающимся преимущественно в долине реки Янцзы. Водовмещающими являются четвертичные отложения, мощность которых увели-

⁴ Ma L.F. Geological atlas of China. Beijing: Geological Publishing House, 2002. 356 p. (In Chinese).

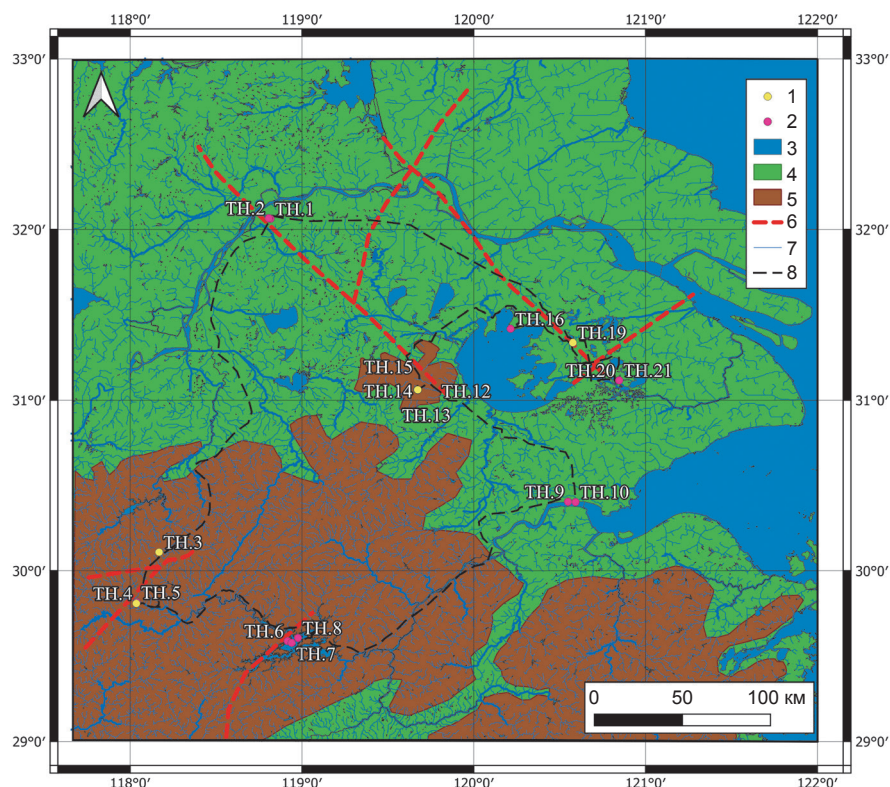


Рис. 7. Структурно-гидрогеологическая карта территории исследования:

1 – место отбора проб из подземных источников; 2 – место отбора проб из поверхностных источников;
3 – водные объекты; 4 – гидрогеологический бассейн; 5 – гидрогеологический массив;
6 – обводненные разломы; 7 – гидросеть; 8 – абрис движения экспедиции

Fig. 7. Structural-hydrogeological map of the area under investigation:

1 – sampling site from underground sources; 2 – sampling site from surface sources; 3 – water bodies;
4 – hydrogeological basin; 5 – hydrogeological massif; 6 – flooded faults; 7 – hydrographic network;
8 – expedition route outline

чивается с запада на восток и изменяется от 250 до 350 м. Порово-пластовые воды вскрываются на глубине 3,3–17 м, дебит одиночных скважин составляет 300–5000 м³/сут, минерализация равна 0,4–(1,36–9,69) дм³ (г. Шанхай), химический состав варьируется от гидрокарбонатного натриевого до хлоридно-сульфатного натриево-магниево-кальциевого, изменяясь в восточном направлении в сторону морского побережья, pH равен 6,99, температура ПВ составляет 18 °С (табл. 2) [13].

ПВ гидрогеологического бассейна могут использоваться для хозяйственно-питьевого водоснабжения. На предыдущих этапах эксплуатации в результате длительного и нерационального водоотбора в водоносный горизонт началось интенсивное поступление морских вод, в связи с чем резко ухудшилось качество ПВ.

Гидрогеологический массив приурочен к горноскладчатой области и представлен гранитами и карбонатными породами юрского возраста. Повсеместно обводнена мощная зона экзогенной трещиноватости. Водообильность

зоны невысока, трещинно-грунтовые воды вскрываются на глубине 2,3–9,42 м, минерализация составляет 0,17–0,21 г/дм³, pH 5,93–7,92, температура равна 20 °С (см. табл. 2). ПВ этого типа используются для наполнения емкостей для пожаротушения и мелкого хозяйственно-питьевого водоснабжения.

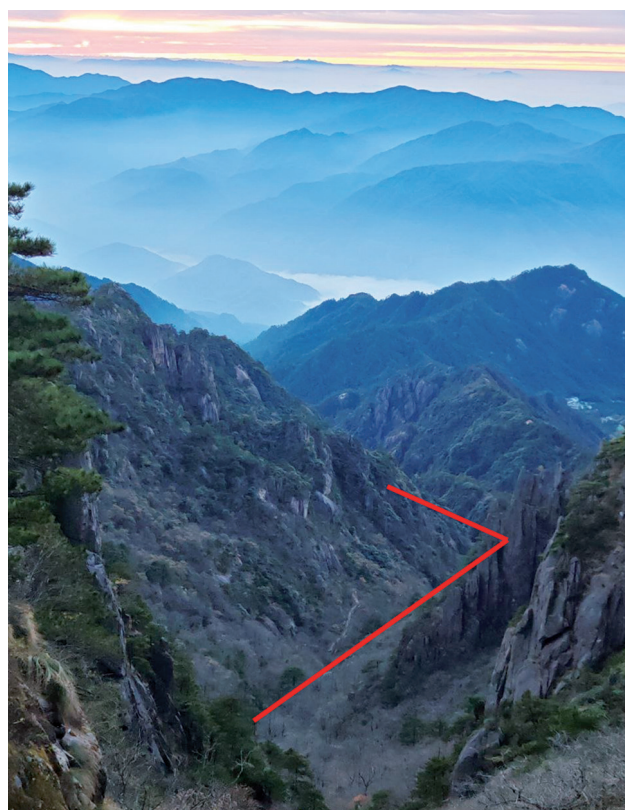
Третий тип гидрогеологических структур – обводненные разломы, широко распространенные в горноскладчатых областях (рис. 8). Часто они имеют характер сбросо-сдвигов [19], отражающихся в виде z-образных структур в рельефе (горы Хуаншань (см. рис. 8, а)), что нередко встречается в Приольхонье на западном берегу Байкала (Сарминское, Курминское ущелье (см. рис. 8, b, c)).

В зависимости от состава пород, нарушенных дизъюнктивными дислокациями, выделяются трещинно-жильные и трещинно-карстовые ПВ, характеристика которых приведена в табл. 2. В соответствии с глубиной проникновения в земную кору выделены приповерхностные и глубокие разломы.



Таблица 2. Краткая характеристика подземных вод территории исследования
Table 2. Brief characteristics of groundwater in the area under investigation

Показатель	Гидрогеологические структуры				
	Гидрогеологический бассейн	Гидрогеологический массив	Обводненные разломы		
Тип коллектора	Порово-пластовые	Трещинно-грунтовые	Трещинно-жильные		Трещинно-карстовые
			Приповерхностные	Глубокие	
Уровень подземных вод, м	3,3–17	2,3–9,42	2,1	71	12
Горные породы	Рыхлые песчано-глинистые отложения	Известняки, граниты	Туфы, брекчии	Карбонатные породы	Известняки, доломиты
Содержание катионов, мг/л:					
K ⁺	1,1–1,83	–	–	14,4	0,28–0,37
Na ⁺	32,1–154,64	–	–	25,6	2,79–5,88
Ca ²⁺	3,97–62,20	–	–	420	6–93
Mg ²⁺	8,37–69,19	–	–	52	6,48–41
Содержание анионов, мг/л:					
SO ₄ ²⁻	0,2–0,67	–	–	1171	25,5–53,2
Cl ⁻	3,83–550,24	–	–	15	7,48–15
HCO ₃ ⁻	15,74–78,72	–	–	16	237–367
Минерализация, г/дм ³	0,4–(1,36–9,69) (г. Шанхай)	0,21	0,305	1,75	0,411
pH	6,99–8,36	6,1–7,42	6,16	6,7–7,4	6,94
Температура, °C	18–19	20	21,3	32–60 и выше	20,8



а



b



с

Рис. 8. Сбросо-сдвиги, отражающиеся в виде z-образных структур в рельефе:

а – горы Хуаншань; б – Сарминское ущелье; с – Курминское ущелье

Fig. 8. Strike-slip faults reflected as z-shaped structures in the relief:

а – Huangshan Mountains; б – Sarminskoe Gorge; с – Kurminskoe Gorge



Наиболее изучены глубокие дизъюнктивные структуры, по которым разгружаются минеральные и термальные воды [19], формирующиеся в карбонатных породах и имеющие сульфатный кальциевый состав. По химическому составу ПВ, приуроченные к гранитам, характеризуются как гидрокарбонатные кальциевые. Достаточно высокая степень изученности ПВ глубоких разломов обусловлена широким развитием санаторно-курортной и туристической баз в стране [20].

Тем не менее наибольший интерес для поисково-оценочных работ с целью последующего хозяйственно-питьевого водоснабжения представляют наименее изученные ПВ приповерхностных обводненных разломов, которые вскрываются на глубине 2,1 м, имеют минерализацию 0,305 г/дм³, pH 6,16, температуру 21,3 °C (см. табл. 2).

Заключение

Проведенное исследование позволило сделать вывод о том, что, вероятнее всего,

ситуацию со снабжением водой хозяйственно-питьевого назначения может улучшить выбор оптимальной схемы водоснабжения в различных структурно-гидрогеологических условиях. В равнинных областях среднего и нижнего течений реки Янцзы наиболее рациональным является использование поверхностных вод и порово-пластовых ПВ гидрогеологического бассейна. В горно-складчатых областях перспективным источником водоснабжения представляются ПВ приповерхностных обводненных разломов, уточнение расположения которых возможно при проведении более детальных геолого-разведочных исследований.

Для выработки оптимальных решений, направленных на эффективное управление водными ресурсами, необходима координация работы департаментов, занимающихся различными аспектами этой проблемы. Такой подход позволит в дальнейшем совершенствовать структуру управления водными ресурсами восточных районов Китая.

Список источников

1. Zhu Z., Zhou H., Ouyang T., Deng Q., Kuang Y., Huang N. Water shortage: a serious problem in sustainable development of China // *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*. 2001. Vol. 8. Iss. 3. P. 233–237. <https://doi.org/10.1080/13504500109470080>.
2. Meng C., Du X., Ren Y., Shen L., Cheng G., Wang J. Sustainable urban development: an examination of literature evolution on urban carrying capacity in the Chinese context // *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 277. P. 122802. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122802>.
3. Zhang Q., Hui Q., Xu P., Hou K., Yang F. Groundwater quality assessment using a new integrated-weight water quality index (IWQI) and driver analysis in the Jiaokou Irrigation District, China // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021. Vol. 212. P. 111992. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.111992>.
4. Zeng Y., Xu L., Su J., Ali A., Peng Z., Li X. Assembling fixed-biofilm reactor with modified basalt fiber and modified wild jujube seed biochar for concurrent removal of nitrate, tetracycline and cadmium: performance and microflora response // *Journal of Cleaner Production*. 2024. Vol. 434. P. 140190. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140190>.
5. Митина Н.Н., Чжоу Ч., Шумакова Е.М. Современное состояние водных ресурсов и водного хозяйства Китайской Народной Республики // *Инновации и инвестиции*. 2022. № 6. С. 46–51. EDN: CLHHTW.
6. Li M.-G., Chen J.-J., Xu Y.-S., Tong D.-G., Cao W.-W., Shi, Y.-J. Effects of groundwater exploitation and recharge on land subsidence and infrastructure settlement patterns in Shanghai // *Engineering Geology*. 2021. Vol. 282. P. 105995. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.105995>.
7. Аузина Л.И., Чжан Ю., Устюжанин А.О., Ярошук И.А., Масликов О.С., Ковтун К.К. Условия формирования основных экзогенных процессов в юго-западной части Байкальской рифтовой системы (Россия) и восточной части Южно-Китайского блока (Китай) // *Науки о Земле и недропользование*. 2020. Т. 43. № 2. С. 256–270. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-2-256-270>. EDN: YXELGM.
8. Molnar P., Tapponnier P. Cenozoic tectonics of Asia: effects of a continental collision // *Science*. 1975. Vol. 189. Iss. 4201. P. 419–426. <https://doi.org/10.1126/science.189.4201.419>.
9. Gu C., Hu L., Zhang X., Wang X., Guo J. Climate change and urbanization in the Yangtze River Delta // *Habitat International*. 2011. Vol. 35. Iss. 4. P. 544–552. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2011.03.002>.
10. Chang Y. Water quality assessment and source apportionment of Huangpu River water pollution in Shanghai City, eastern China using APCS-MLR // *Research Article*. 2023. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3188746/v1>.
11. Song M., Zhang J., Bian G., Jie W., Wang G. Quantifying effects of urban land-use patterns on flood regimes for a typical urbanized basin in eastern China // *Hydrology Research*. 2020. Vol. 51. Iss. 6. P. 1521–1536. <https://doi.org/10.2166/nh.2020.110>.
12. Yuan X., Li J., Mao C., Ji J., Yang Z. Geochemistry of water and suspended particulate in the lower Yangtze River: implications for geographic and anthropogenic effects // *International Journal of Geosciences*. 2012. Vol. 3. Iss. 1. P. 81–92. <https://doi.org/10.4236/ijg.2012.31010>.



13. Zhan G., Li J., Wang H., Wen X., Gu H. Origin and hydrochemical evolution of confined groundwater in Shanghai, China // *Frontiers in Earth Science*. 2023. Vol. 11. P. 1117132. <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1117132>.
14. Li X., Tang C., Cao Y., Li D. A multiple isotope (H, O, N, C and S) approach to elucidate the hydrochemical evolution of shallow groundwater in a rapidly urbanized area of the Pearl River Delta, China // *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 724. P. 137930. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137930>.
15. Sheng D., Meng X., Wen X., Wu J., Yu H., Wu M., et al. Hydrochemical characteristics, quality and health risk assessment of nitrate enriched coastal ground-water in northern China // *Journal of Cleaner Production*. 2023. Vol. 403. P. 136872. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136872>.
16. Zeng Y., Xu L., Su J., Ali A., Peng Z., Li X. Assembling fixed-biofilm reactor with modified basalt fiber and modified wild jujube seed biochar for concurrent removal of nitrate, tetracycline and cadmium: performance and microflora response // *Journal of Cleaner Production*. 2024. Vol. 434. P. 140190. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140190>.
17. Wen Y., Qiu J., Si C., Xu C., Gao X. Hydrochemical evolution mechanisms of shallow groundwater and its quality assessment in the estuarine coastal zone: a case study of Qidong, China // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. Vol. 17. Iss. 10. P. 3382. <https://doi.org/10.3390/ijerph17103382>.
18. Денисенко И.А., Лунина О.В. Позднечетвертичные смещения вдоль Сарминского участка Приморско-го разлома по данным георадиолокации (Байкальский рифт) // *Геодинамика и тектонофизика*. 2020. Т. 11. № 3. С. 548–565. <https://doi.org/10.5800/GT-2020-11-3-0490>. EDN: KEZTKM.
19. Ma J., Zhou Z. Origin of the low-medium temperature hot springs around Nanjing, China // *Open Geosciences*. 2021. Vol. 13. Iss. 1. P. 820–834. <https://doi.org/10.1515/geo-2020-0269>.
20. Валькова Т.М., Красавцев И.В., Тан Ц. Туризм в Китае: современное состояние, основные факторы, влияющие на его развитие // *Географическая среда и живые системы*. 2023. № 4. С. 53–72. <https://doi.org/10.18384/2712-7621-2023-4-53-72>. EDN: KOTFZU.

References

1. Zhu Z., Zhou H., Ouyang T., Deng Q., Kuang Y., Huang N. Water shortage: a serious problem in sustainable development of China. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*. 2001;8(3):233-237. <https://doi.org/10.1080/13504500109470080>.
2. Meng C., Du X., Ren Y., Shen L., Cheng G., Wang J. Sustainable urban development: an examination of literature evolution on urban carrying capacity in the Chinese context. *Journal of Cleaner Production*. 2020;277:122802. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122802>.
3. Zhang Q., Hui Q., Xu P., Hou K., Yang F. Groundwater quality assessment using a new integrated-weight water quality index (IWQI) and driver analysis in the Jiaokou Irrigation District, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021;212:111992. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.111992>.
4. Zeng Y., Xu L., Su J., Ali A., Peng Z., Li X. Assembling fixed-biofilm reactor with modified basalt fiber and modified wild jujube seed biochar for concurrent removal of nitrate, tetracycline and cadmium: performance and microflora response. *Journal of Cleaner Production*. 2024;434:140190. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140190>.
5. Mitina N.N., Zhou Ch., Shumakova E.M. The current state of water resources and water management in the People's Republic of China. *Innovation & Investment*. 2022;6:46-51. (In Russ.). EDN: CLHHTW.
6. Li M.-G., Chen J.-J., Xu Y.-S., Tong D.-G., Cao W.-W., Shi, Y.-J. Effects of groundwater exploitation and recharge on land subsidence and infrastructure settlement patterns in Shanghai. *Engineering Geology*. 2021;282:105995. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.105995>.
7. Auzina L.I., Zhang Y., Ustyuzhanin A.O., Yaroshchuk I.A., Maslikov O.S., Kovtun K.K. Conditions of the formation of the main exogenous processes in the southwest part of the Baikal rift system (Russia) and in the eastern part of the south China block (China). *Earth sciences and subsoil use*. 2020;43(2):256-270. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-2-256-270>. EDN: YXELGM.
8. Molnar P., Tapponnier P. Cenozoic tectonics of Asia: effects of a continental collision. *Science*. 1975;189(4201):419-426. <https://doi.org/10.1126/science.189.4201.419>.
9. Gu C., Hu L., Zhang X., Wang X., Guo J. Climate change and urbanization in the Yangtze River Delta. *Habitat International*. 2011;35(4):544-552. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2011.03.002>.
10. Chang Y. Water quality assessment and source apportionment of Huangpu River water pollution in Shanghai City, eastern China using APCS-MLR. *Research Article*. 2023. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3188746/v1>.
11. Song M., Zhang J., Bian G., Jie W., Wang G. Quantifying effects of urban land-use patterns on flood regimes for a typical urbanized basin in eastern China. *Hydrology Research*. 2020;51(6):1521-1536. <https://doi.org/10.2166/nh.2020.110>.
12. Yuan X., Li J., Mao C., Ji J., Yang Z. Geochemistry of water and suspended particulate in the lower Yangtze River: implications for geographic and anthropogenic effects. *International Journal of Geosciences*. 2012;3(1):81-92. <https://doi.org/10.4236/ijg.2012.31010>.
13. Zhan G., Li J., Wang H., Wen X., Gu H. Origin and hydrochemical evolution of confined groundwater in Shanghai, China. *Frontiers in Earth Science*. 2023;11:1117132. <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1117132>.
14. Li X., Tang C., Cao Y., Li D. A multiple isotope (H, O, N, C and S) approach to elucidate the hydrochemical evolution of shallow groundwater in a rapidly urbanized area of the Pearl River Delta, China. *Science of The Total Environment*. 2020;724:137930. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137930>.



15. Sheng D., Meng X., Wen X., Wu J., Yu H., Wu M., et al. Hydrochemical characteristics, quality and health risk assessment of nitrate enriched coastal ground-water in northern China. *Journal of Cleaner Production*. 2023;403:136872. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136872>.
16. Zeng Y., Xu L., Su J., Ali A., Peng Z., Li X. Assembling fixed-biofilm reactor with modified basalt fiber and modified wild jujube seed biochar for concurrent removal of nitrate, tetracycline and cadmium: performance and microflora response. *Journal of Cleaner Production*. 2024;434:140190. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140190>.
17. Wen Y., Qiu J., Si C., Xu C., Gao X. Hydrochemical evolution mechanisms of shallow groundwater and its quality assessment in the estuarine coastal zone: a case study of Qidong, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020;17(10):3382. <https://doi.org/10.3390/ijerph17103382>.
18. Denisenko I.A., Lunina O.V. Late Quarternary displacements along the Sarma segment of the Primorsky fault based on gpr survey data (Baikal rift). *Geodynamics & Tectonophysics*. 2020;11(3):548-565. (In Russ.). <https://doi.org/10.5800/GT-2020-11-3-0490>. EDN: KEZTKM.
19. Ma J., Zhou Z. Origin of the low-medium temperature hot springs around Nanjing, China. *Open Geosciences*. 2021;13(1):820-834. <https://doi.org/10.1515/geo-2020-0269>.
20. Valkova T.M., Krasavtsev I.V., Tang Quan. Tourism in China: current status, the main factors influencing its development. *Geographical Environment and Living Systems*. 2023;4:53-72. (In Russ.). <https://doi.org/10.18384/2712-7621-2023-4-53-72>. EDN: KOTFZU.

Информация об авторах / Information about the authors



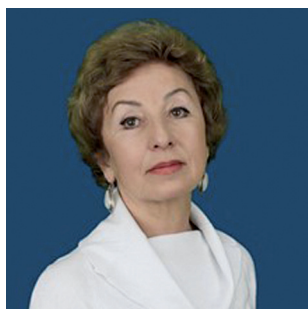
Сумкин Андрей Александрович,
студент,
институт «Сибирская школа геонаук»,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия,
✉ andrey.sumkin.00@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0004-7581-5180>
Andrei A. Sumkin,
Student,
Siberian School of Geosciences,
Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russia,
✉ andrey.sumkin.00@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0004-7581-5180>



Чэнь Чжанчи,
студент,
Школа географии,
Нанкинский педагогический университет,
г. Нанкин, Китай,
1679501856@qq.com
<https://orcid.org/0009-0008-1321-4231>
Zhangchi Chen,
Student,
School of Geography,
Nanjing Normal University,
Nanjing, China,
1679501856@qq.com
<https://orcid.org/0009-0008-1321-4231>



Гнатюк Яна Сергеевна,
студент,
институт «Сибирская школа геонаук»,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия,
gnatyk.yany@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0006-4555-1895>
Iana S. Gnatyuk,
Student,
Siberian School of Geosciences,
Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russia,
gnatyk.yany@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0006-4555-1895>

**Аузина Лариса Ивановна,**

кандидат геолого-минералогических наук, доцент,
руководитель лаборатории гидрогеологии,
институт «Сибирская школа геонаук»,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия,
lauzina@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4702-7863>

Larisa I. Auzina,

Cand. Sci. (Geol. & Mineral.), Associate Professor,
Head of the Hydrogeology Laboratory,
Siberian School of Geosciences,
Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russia,
lauzina@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4702-7863>

**Чжан Юнчжань,**

доктор наук, профессор,
Школа географии и океанологии,
Нанкинский университет,
г. Нанкин, Китай,
zhangyzh@nju.edu.cn
<https://orcid.org/0000-0003-1118-8697>

Yongzhan Zhang,

Ph.D., Professor,
School of Geography & Ocean Science,
Nanjing University,
Nanjing, China,
zhangyzh@nju.edu.cn
<https://orcid.org/0000-0003-1118-8697>

Вклад авторов / Contribution of the authors

А.А. Сумкин – проведение исследования, визуализация, написание черновика рукописи, редактирование рукописи.

Ч. Чэнь – проведение исследования, курирование данных.

Я.С. Гнатюк – проведение исследования, визуализация, редактирование рукописи.

Л.И. Аузина – проведение исследования, административное руководство исследовательским проектом, разработка концепции, курирование данных, написание черновика рукописи, редактирование рукописи.

Ю. Чжан – проведение исследования, научное руководство, разработка концепции, курирование данных.

Andrei A. Sumkin – investigation, visualization, writing – original draft, writing – editing.

Zhangchi Chen – investigation, data curation.

Iana S. Gnatyuk – investigation, visualization, writing – editing.

Larisa I. Auzina – investigation, project administration, conceptualization, data curation, writing – original draft, writing – editing.

Yongzhan Zhang – investigation, supervision, conceptualization, data curation.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Аузина Л.И. является членом редакционной коллегии журнала «Науки о Земле и недропользование» с 2018 года, но не имеет отношения к решению опубликовать эту статью. Статья прошла принятую в журнале процедуру рецензирования. Об иных конфликтах авторы не заявляли.

Larisa I. Auzina has been a member of the editorial board of the Earth Sciences and Subsoil Use journal since 2018, but she did not take part in making a decision about publishing the article under consideration. The article was peer reviewed following the journal's review procedure. The authors do not report any other 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 23.04.2025; одобрена после рецензирования 02.05.2025; принята к публикации 20.05.2025.

The article was submitted 23.04.2025; approved after reviewing 02.05.2025; accepted for publication 20.05.2025.