

## ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ТЕРРИТОРИИ ГЕОПАРКА «ТОРАТАУ»

© 2020 г. Р. Ф. Абдрахманов, В. Н. Дурнаева, А. О. Полева

**Аннотация:** В статье рассматриваются гидрогеологические условия территории создаваемого в Республике Башкортостан геопарка «Торатау». Показано, что минеральный состав водовмещающих пород оказывает большое влияние на гидрохимический облик зоны гипергенеза. Водообеспеченность района достаточно высокая, модули подземного стока составляют от 0.1–0.5 до 1–3 л×с/км<sup>2</sup>.

Территория геопарка «Торатау» богата минеральными водами. Это источники Ташастинский, Красноусольский, Талалаевский и др. различного химического состава и минеральные воды, добываемые скважинами для санаторно-курортного использования: Красноусольское и Стерлитамакское месторождения. В районе Красноусольского курорта выявлено 32 группы восходящих сульфидных источников, расположенных двумя линиями по правому и левому берегам р. Усолки. На территории курорта Красноусольск и в его окрестностях выявлены три месторождения минеральных вод, отличающихся по своим геохимическим показателям и лечебным свойствам. Наиболее крупное из них — Красноусольское 1 — представлено сероводородными водами. Таш-Астинский, Байгузинский и Талалаевские минеральные источники в настоящее время в лечебных целях не используются.

В течение многих лет изучаемая территория испытывает мощное техногенное влияние промышленных предприятий Стерлитамака, Ишимбая, Салавата. Горные породы и подземные воды насыщены продуктами нефтепереработки и отходами Башкирской содовой компании на всю проницаемую толщу не только в пределах самих производств, но и далеко за их пределами, при этом наиболее активно происходит загрязнение вод аллювиального горизонта. Период нахождения загрязняющих веществ в водоносных горизонтах достигает многих десятков и даже сотен лет. Это связано с тем, что для полного вывода загрязненных вод из горизонта требуется несколько циклов полного водообмена. Создание геоинформационной системы геопарка «Торатау» позволит отслеживать изменения на конкретных объектах в условиях всего геопарка под действием антропогенных и природных факторов, а также оценить степень влияния этих факторов.

**Ключевые слова:** геопарк, гидрогеологические условия, пресные воды, минеральные воды, техногенез, геоинформационные системы

## HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS OF THE TERRITORY OF THE TORATAU GEOPARK

© 2020 R. F. Abdrakhmanov, V. N. Durnaeva, A. O. Poleva

**Abstract:** The paper discusses the hydrogeological conditions of the territory of the Toratau geopark created in the Republic of Bashkortostan. It is shown that the mineral composition of water-bearing rocks has a great influence on the hydrochemical character of the hypergenesis zone. The water supply of the district is quite high, the modules of the underground runoff are from 0.1–0.5 to 1–3 l×s/km<sup>2</sup>.

The territory of the Toratau geopark is rich in mineral waters. These are sources of Tashastinsky, Krasnousolsky, Talalaevisky and others with various chemical composition and mineral waters produced by wells for sanatorium use: the Krasnousolsky and Sterlitamak deposits. In the Krasnousolsky resort area, 32 groups of ascending sulfide sources were identified, located in two lines along the right and left banks of the river. There are known three mineral water deposits in the resort of Krasnousolsk and its environs that differ in their geochemical parameters and healing properties. The largest of them, Krasnousolsky 1, is represented by hydrogen sulfide waters. Tashastinsky, Baiguzinsky and Talalayevsky mineral springs are currently not used for medicinal purposes.

**Для цитирования:** Абдрахманов Р.Ф., Дурнаева В.Н., Полева А.О. Гидрогеологические условия территории геопарка «Торатау» // Геологический вестник. 2020. № 1. С. 95–112. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2020-1-7>.

**For citation:** Abdrakhmanov R.F., Durnaeva V.N., Poleva A.O. Hydrogeological conditions of the territory of the “Toratau” geopark // *Geologicheskii vestnik*. 2020. No. 1. P. 95–112. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2020-1-7>.

For many years, the study area has been experiencing a powerful technogenic influence of the industrial enterprises of Sterlitamak, Ishimbay, Salavat. The rocks and groundwater are saturated with oil products and waste from the Bashkir soda company to the entire permeable stratum, not only within the production facilities themselves, but also far beyond them, and water from the alluvial horizon is the most contaminated. The period of presence of pollutants in aquifers reaches many tens and even hundreds of years. This is because the complete removal of polluted waters from the horizon needs several cycles of complete water exchange. The creation of the geoinformation system of the Toratau geopark will make it possible to track changes in specific objects, within the entire geopark under the influence of anthropogenic and natural factors, as well as assess the degree of influence of these factors.

Key words: geopark, hydrogeological conditions, fresh waters, mineral waters, technogenesis, geographic information systems

## Введение

В рамках Всемирного проекта ЮНЕСКО в конце XX – начале XXI века начала активно создаваться Глобальная сеть национальных геопарков (Global Geoparks Network). Глобальная сеть геопарков — это международная неправительственная некоммерческая добровольная организация, которая является площадкой для взаимодействия геопарков, действующая согласно правилам, регламентируемым ЮНЕСКО, и объединяющая правительственные структуры, частные организации, научные сообщества всех стран мира для сотрудничества и обмена опытом в области управления и использования геологического наследия различного уровня значимости [Корф, 2015]. Создаваемый на территории Республики Башкортостан геопарк «Торатау» в полной мере отвечает целям его создания: сохранение геологического наследия территории, популяризация геологических и экологических знаний в различных кругах населения и достижение устойчивого развития территории.

Территория геопарка достаточно хорошо обеспечена как пресными, так и минеральными водами (рис. 1). Особое место необходимо уделить охране и сохранению пресных подземных и минеральных вод данного региона на фоне большой освоенности территории промышленными предприятиями городов. Подземные воды левобережной части долины р. Белой в пределах I и II надпойменных террас на протяжении многих десятилетий находятся в зоне воздействия химических и нефтехимических производств г.г. Ишимбая, Салавата и Стерлитамака.

## Гидрогеологические условия территории

В соответствии с принципами структурно-гидрогеологического районирования Башкортостана [Абдрахманов, Попов, 1999] западная часть

района исследований относится к восточной окраине сложного Волго-Уральского артезианского бассейна (I). Здесь выделяются Волго-Камский артезианский бассейн (I<sub>1</sub>) и Предуральский артезианский бассейн (I<sub>2</sub>), Западно-Уральский (II) артезианский бассейн (предгорная часть). Восточная часть района исследований находится в пределах Уральской гидрогеологической складчатой области (III, см. рис. 1).

В гидрогеологической структуре **Волго-Камского артезианского бассейна** преобладают пластовые скопления подземных вод, где с некоторой условностью выделяются до 10 гидрогеологических комплексов, в каждом из которых заключены воды нескольких гидрохимических классов. Границами комплексов служат глинистые и галогенный водоупоры (кыновско-доманиковский, визейский, верейский, кунгурский). Среди них наиболее мощным (50–300 м и более) является кунгурский галогенный водоупор (гипсы, ангидриты, каменная соль), разделяющий чехол на два гидрогеологических этажа, в пределах которых условия формирования подземных вод существенно отличаются. Здесь развиты поровые, порово-трещинные, трещинные и трещиновато-карстовые классы подземных вод. Геологический разрез представлен породами палеозоя, состоящими из карбонатных и терригенных глинистых осадков девонского и каменноугольного возраста. Верхнекаменноугольные и нижнепермские отложения представлены депрессионной, молассовой, рифовой и лагунной фациями. Это, терригенные породы и соли.

Распределение подземных вод в осадочной толще бассейна контролируется вертикальной гидрогеодинамической и газогидрогеохимической зональностями, отражающими историю его гидрогеологического развития и современные процессы в системе «вода – порода – газ – органическое вещество». Суть их заключается в последовательном

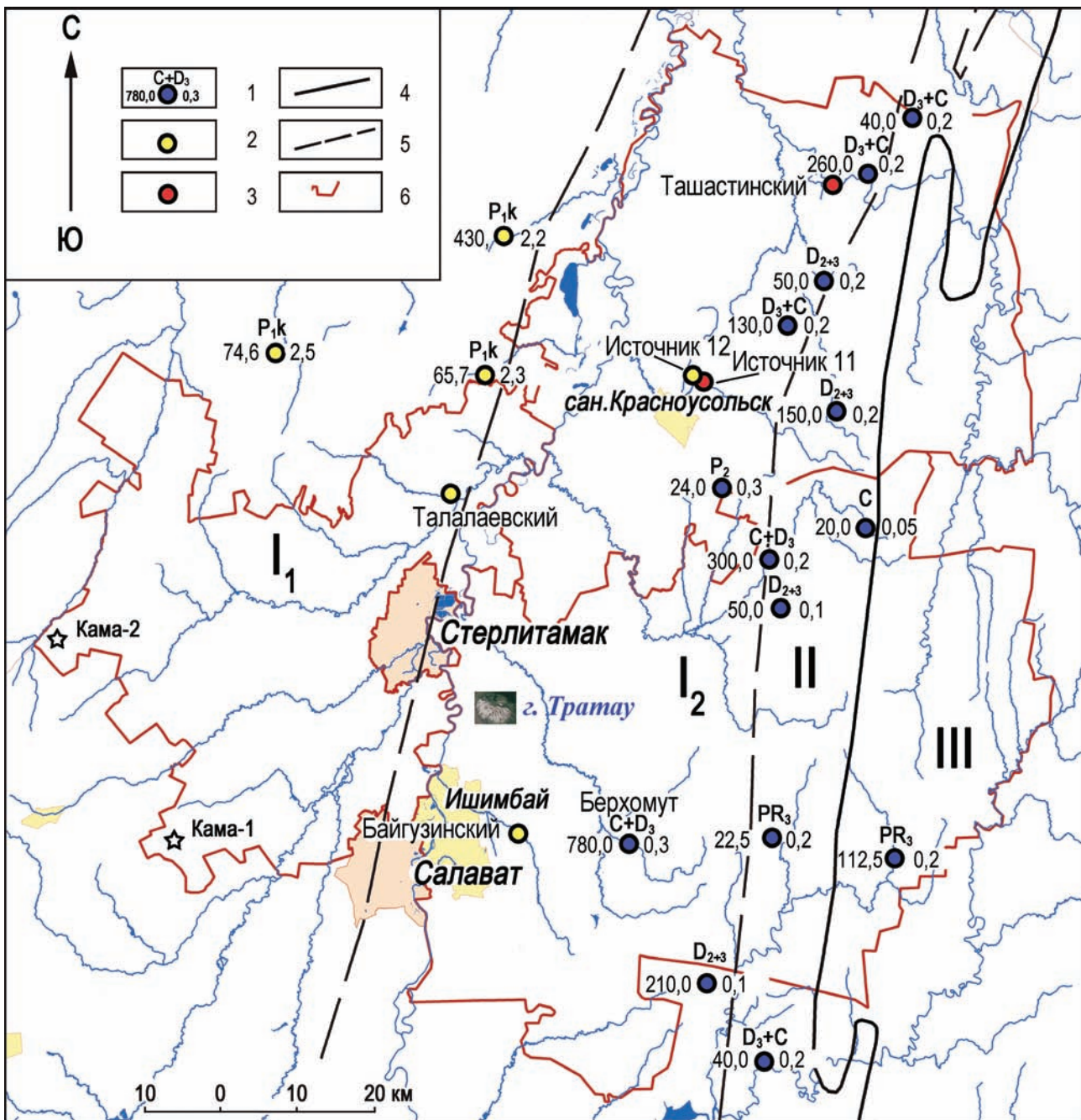


Рис. 1. Схема расположения источников геопарка «Торатау»

Пресные высокодебитные: 1 — гидрокарбонатные (до 1 г/дм<sup>3</sup>): наверху — возраст водовещающих пород, слева — дебит (л/с), справа — минерализация (г/дм<sup>3</sup>). Минеральные: 2 — сульфатные (до 3 г/дм<sup>3</sup>), 3 — хлоридные (от 2–3 до 50 г/дм<sup>3</sup>); 4 — граница между Волго-Уральским артезианским бассейном и Уральской гидрогеологической складчатой областью; 5 — границы между гидрогеологическими структурами второго порядка: I<sub>1</sub> — Волго-Камский артезианский бассейн, I<sub>2</sub> — Предуральский артезианский бассейн, II — Западно-Уральский артезианский бассейн, III — Уральская гидрогеологическая складчатая область; 6 — граница геопарка «Торатау».

Fig. 1. The layout of the sources of the Toratau geopark

Fresh high-yield: 1 — hydrocarbonate (up to 1 g/dm<sup>3</sup>): at the top is the age of the water-bearing rocks, on the left is the flow rate (l/s), on the right is mineralization (g/dm<sup>3</sup>). Mineral: 2 — sulfate (up to 3 g/dm<sup>3</sup>), 3 — chloride (from 2–3 to 50 g/dm<sup>3</sup>); 4 — the border between the Volga-Urals artesian basin and the Urals hydrogeological folded region; 5 — boundaries between second-order hydrogeological structures: I<sub>1</sub> — Volga-Kama artesian basin, I<sub>2</sub> — Cis-Urals artesian basin, II — West Urals artesian basin, III — Urals hydrogeological folded area; 6 — border of the Toratau geopark.

замещении с глубиной гидрокарбонатных<sup>1</sup> вод (до 1 г/дм<sup>3</sup>) сульфатными (1–20 г/дм<sup>3</sup>), сульфатно-хлоридными (5–35 г/дм<sup>3</sup>) и хлоридными (35–400 г/дм<sup>3</sup>). Одновременно происходит смена водорастворенных газов от кислородно-азотного до сероводородно-углекисло-метаново-азотного, азотно-метанового и метанового состава, снижение величин Eh (от +650 до –450 мВ) и рН (от 9 до 5).

Зона хлоридных вод (рассолов) занимает наибольший интервал в гидрогеохимическом разрезе (до 10–11 км). Хлоридные натриевые, кальциево-натриевые сульфидно-углекисло-метаново-азотные рассолы генетически связаны с сульфатизированными и битуминозными породами раннепермского и каменноугольного возраста. Поликомпонентные сероводородные, борные, йодобромные хлоридные натриевые рассолы с заметной концентрацией сероводорода вскрываются в рифовых массивах на глубинах до 700–800 м у г. Ишимбая. В районе Ишимбаевского нефтяного месторождения содержание H<sub>2</sub>S колеблется от первых сотен миллиграммов на литр до 1 г/дм<sup>3</sup> и выше. Минерализация рассолов обычно составляет 250–290 г/дм<sup>3</sup>. Их отличают высокие концентрации брома (до 830 мг/дм<sup>3</sup>), йода (до 90 мг/дм<sup>3</sup>) и бора. Сероводородные и йодобромные рассолы представляют интерес в бальнеологическом отношении (Ишимбайский тип бальнеологических вод).

**Предуральский бассейн** на востоке граничит с Западно-Уральским бассейном трещинно-карстово-пластовых вод. Сложен бассейн девонскими и каменноугольными преимущественно карбонатными осадками и представляет линейный карстовый артезианский бассейн. Наибольшая концентрация стока карстовых вод происходит в нижнекаменноугольных и верхнедевонских карбонатных толщах. Об этом свидетельствуют мощные концентрированные выходы карстовых родников. Среди них выделяется высокодебитный источник Берхомут (см. рис. 1). Максимальный дебит родника 1.39 м<sup>3</sup>/с, минималь-

ный — 0.65 м<sup>3</sup>/с. Используется для водоснабжения г. Стерлитамак. Производительность водозабора «Берхомут» — 60 тыс. м<sup>3</sup>/сут — обеспечивает потребности города в питьевой воде. При расходе 0.3 м<sup>3</sup>/с начинается пульсирующая турбулентная разгрузка, связанная с подземными карстовыми сифонами. Химический состав воды родника гидрокарбонатный кальциевый, минерализация 100–250 мг/дм<sup>3</sup>. По бактериальному составу вода здоровая.

Восточная горная часть геопарка «Торатау» находится в пределах **Центрально-Уральского бассейна** трещинно-жилых вод. Основным типом структур бассейна являются метаморфические гидрогеологические массивы, сложенные первично-осадочными формациями позднего протерозоя – палеозоя. Существуют также внутроструктурные карстовые бассейны, приуроченные к карбонатным породам позднего протерозоя Башкирского антиклинория. На геохимический облик вод зоны гипергенеза, кроме ландшафтно-климатических особенностей, большое влияние оказывает минеральный состав водовмещающих пород, дренируемых реками в пределах местных областей питания и разгрузки.

Наименее минерализованные ультрапресные воды (30–80 мг/дм<sup>3</sup>) характерны для геохимически малоактивных сред: кварцитов, кварцевых песчаников, кремнистых и слюдясто-кварцевых сланцев. Циркулирующие в этих породах воды имеют сульфатно-гидрокарбонатный, гидрокарбонатный, реже хлоридно-гидрокарбонатный состав. Среди катионов преобладают кальций и натрий, нередко к числу главных ионов (>20%) принадлежит и магний. Солевой состав большинства проб ультрапресных вод представлен Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> и Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (до 50–70%). В водах всегда присутствуют сульфаты в количестве 10–30, иногда до 60%, а также NaCl от 2–5 до 20, редко 40%. Карстовые воды обычно имеют минерализацию 0.2–0.4 г/дм<sup>3</sup>, гидрокарбонатный кальциевый состав. В глубоких частях бассейна (по данным Кулгунинской сверхглубокой скважины) формировались гидрокарбонатные натриевые (содовые) воды с минерализацией до 10–12 г/дм<sup>3</sup> [Крайнов и др., 2012; Попов, Абдрахманов, 2013].

Водообеспеченность района достаточно высокая, особенно его восточной части. Модули подземного стока колеблются от 0.1–0.5 (западная часть района) до 1–3 л×с/км<sup>2</sup> (восточная). Прогнозные эксплуатационные ресурсы подземных вод Ишимбайского района составляют 304 м<sup>3</sup>/сут., современный водозабор — 162.8 м<sup>3</sup>/сут., Стерлитамакского — 55.8 м<sup>3</sup>/сут., современный водозабор — 31.8 м<sup>3</sup>/сут.,

<sup>1</sup> Систематизация подземных вод по химическому составу произведена на базе классификации Алекина–Посохова [Алекин, 1970; Посохов, 1975]. В соответствии с ней, при соблюдении неравенства  $rCl < rNa$ , выделяются тип I (гидрокарбонатный натриевый или содовый) с соотношением  $rHCO_3 > rCa+rMg$  и тип II (сульфатный натриевый) с соотношением  $rHCO_3 < rCa+rMg$ . В случае, когда  $rCl > rNa$ , выделяются тип IIIа (хлормагниевоый) с соотношением  $rCl < rNa+rMg$  и тип IIIб (хлоркальциевый) с соотношением  $rCl > rNa+rMg$ . Если в воде концентрация HCO<sub>3</sub> равна нулю, то она относится к типу IV. Наименование водам дается по преобладающим анионам и катионам в порядке их возрастания. Преобладающими считаются ионы, содержащиеся в количестве 20% и более при условии, что сумма анионов и катионов равна 100% в отделимости.

Гафурийского — 135 м<sup>3</sup>/сут., современный водо-забор — 8.9 м<sup>3</sup>/сут. [Абдрахманов, 2014].

### Минеральные воды региона и их использование

Территория геопарка «Торатау» богата минеральными водами (см. рис. 1). Это источники (Ташастинский, Красноусольский, Талалаевский и др.) различного химического состава и минеральные воды, добываемые скважинами для санаторно-курортного использования: Красноусольское и Стерлитамакское месторождения.

**Красноусольские месторождения минеральных вод.** На базе Красноусольских минеральных вод (рис. 2) функционирует курорт государственного значения, находящийся в 5 км северо-восточнее пос. Красноусольский, в 140 км южнее г. Уфы. Среди санаториев и курортов Волго-Уральского региона курорт Красноусольск по разнообразию природных лечебных факторов занимает особое место. Здесь выявлены и используются в лечебных целях различные типы минеральных вод (питьевые сульфатные кальциевые и хлоридные натриевые радоновые, бальнеологические сероводородные) и грязи [Абдрахманов, 2014; Абдрахманов, Попов,

1999]. Расположенность курорта в зоне передовых складок Уральских гор создает своеобразные условия для климатолечения, организации терренкуров с целью дозированных по расстоянию и углу подъема пеших прогулок. Территория курорта, где развита разнообразная древесная растительность (сосна, лиственница, береза, дуб, липа и др.), характеризуется высокой ионизационной и бактерицидной способностью, что является положительным лечебным фактором. Курорт Красноусольск расположен на стыке Бельского понижения и передовых складок Южно-Уральских гор (абс. отм. 130–210 м), что обеспечивает достаточную увлажненность территории (осадков до 500 мм в год).

В геолого-структурном отношении Красноусольские месторождения минеральных вод приурочены к сводовой части Усольской антиклинали, сложенной известняками среднего и верхнего карбона, перекрытыми нижнепермскими флишевыми и молассовыми отложениями (рис. 3).

Непосредственно на территории курорта и в его окрестностях известны три месторождения минеральных вод, отличающихся геохимическими показателями и лечебными свойствами, — Красноусольское 1, Красноусольское 2 и Красноусольское 3 [Абдрахманов, Попов, 1999]. Наиболее крупное

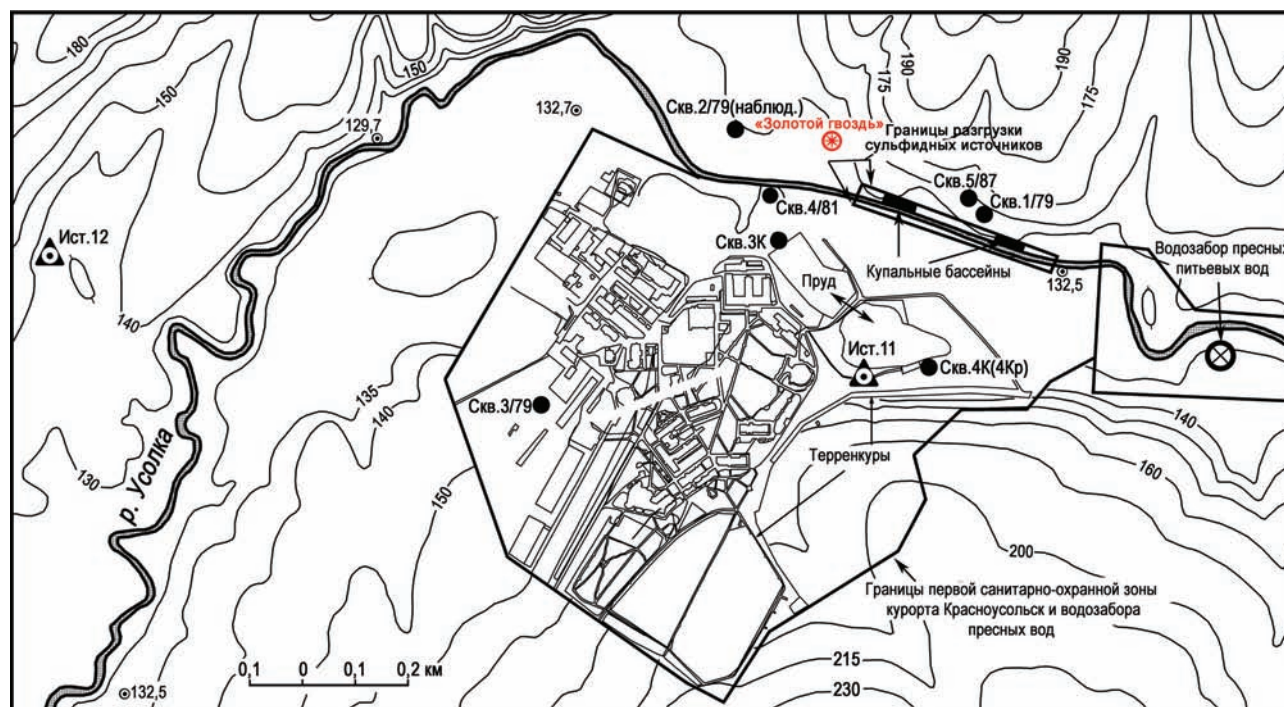


Рис. 2. Схема расположения минеральных источников курорта Красноусольск [Абдрахманов и др., 2006]

Fig. 2. The layout of the mineral springs of the resort Krasnousolsk [Abdrakhmanov et al., 2006]

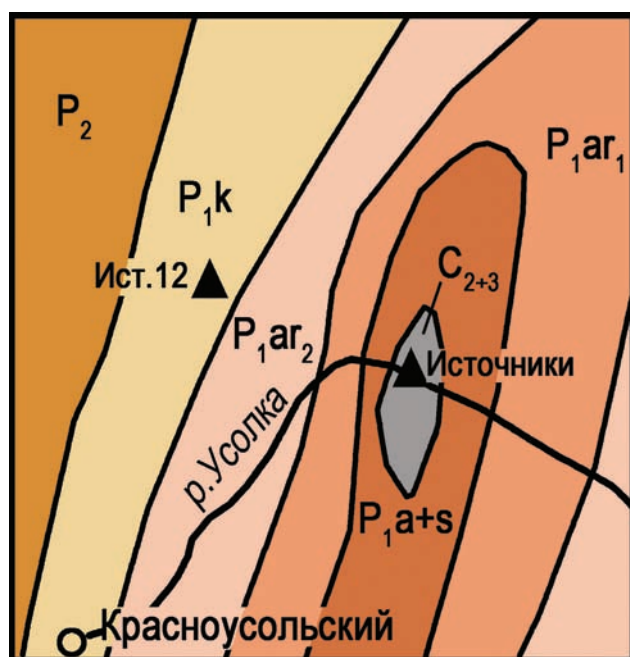


Рис. 3. Геологическое строение района Красноусольских минеральных источников [Геологическая..., 1979]

Fig. 3. The geological structure of the area of Krasnousolsky mineral springs [Geologicheskaya..., 1979]

из них — Красноусольское 1 — представлено сероводородными водами (рис. 4)<sup>1</sup>.

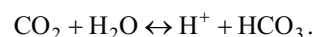
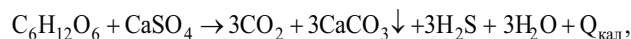
В результате наших исследований [Абдрахманов, Попов, 1999] в районе Красноусольского курорта выявлено 32 группы восходящих сульфидных источников, расположенных двумя линиями по правому и левому берегам р. Усолки. Длина правобережной линии ~0.5 км; она объединяет 29 групп источников естественного происхождения (см. рис. 2). На левом берегу р. Усолки, вблизи курорта, находятся два сероводородных источника, которые возникли на месте скважин, вскрывших самоизливающиеся воды (0.9 и 5.0 л/с) в известняках карбона. Дебит отдельных источников от 0.1 до 8–10 л/с, а суммарный дебит (без учета субквальных выходов в русле р. Усолки) в летнюю межень оценивается в 80 л/с.

Воды всех источников относятся к хлоридным натриевым с минерализацией 2.2–47.7 г/дм<sup>3</sup>, концен-

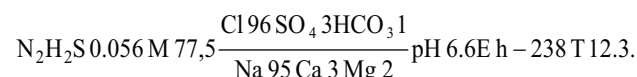
<sup>1</sup> Сероводородные минеральные источники стали известны еще с середины XVIII в. из трудов первых экспедиций Российской Академии наук (П.И. Рычков, П.С. Паллас, И.М. Лепехин). В дальнейшем их обследовали А.В. Нечаев, Г.В. Вахрушев, В.Г. Попов, Р.Ф. Абдрахманов, изучали различные партии Центрального НИИ курортологии и физиотерапии. Бальнеологическую ценность вод исследовали сотрудники Башкирского государственного медицинского университета.

трацией H<sub>2</sub>S до 70–80 мг/дм<sup>3</sup>, температурой 9–13°C, величиной рН 6.9–7.4, Eh +160...–340 мВ. Содержание микроэлементов (мг/дм<sup>3</sup>): Br до 40.5, I до 0.9, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> до 30.9, F до 1.6. Солевой состав на 80–95% представлен NaCl, остальными солями являются (%): Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1–4%, MgSO<sub>4</sub> 2–6%, CaSO<sub>4</sub> 0.2–7% и Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 1–8%.

Происхождение вод инфильтрационное; химический состав формируется за счет выщелачивания солевого комплекса каменноугольных пород; природа сероводорода биогенная. Именно в битуминозных карбонатных породах каменноугольного возраста создались благоприятные литолого-гидрогеохимические и термобарические (PT) условия для генерации H<sub>2</sub>S за счет процесса биохимической сульфатредукции:

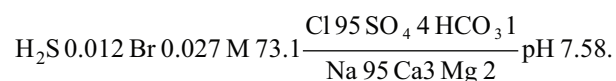


Формула химического состава воды скважины № 5/87, используемой в бальнеологических целях, имеет вид:



Скважина 5/87 (дублер 1/79) имеет глубину 301 м, пробурена в 1989 г. Сероводородные воды вскрыты в интервале глубин 150–301 м в трещиноватых, закарстованных карбонатных отложениях среднего карбона.

Состав воды скважин №№ 4/81 и 3К, ранее используемых в лечебных целях, характеризуется следующей формулой:



Содержание сероводорода (12.2 мг/дм<sup>3</sup>) несколько ниже установленного для данного типа вод (30–40 мг/дм<sup>3</sup>).

Анализ поведения главных ионов в водах с различной минерализацией свидетельствует о том, что ее рост практически всецело обеспечивается за счет натрия и хлора, содержания которых увеличиваются соответственно от 0.78 до 25.5 г/дм<sup>3</sup> (83.5–95.7%) и от 1.15 до 39.2 г/дм<sup>3</sup> (80.9–95.1%). С увеличением минерализации возрастают также концентрации сульфатного (от 0.16 до 3.0 г/дм<sup>3</sup>), кальциевого (от 0.1 до 0.68 г/дм<sup>3</sup>) и магниевого (от 0.02 до 0.3 г/дм<sup>3</sup>) ионов. В то же время относительное



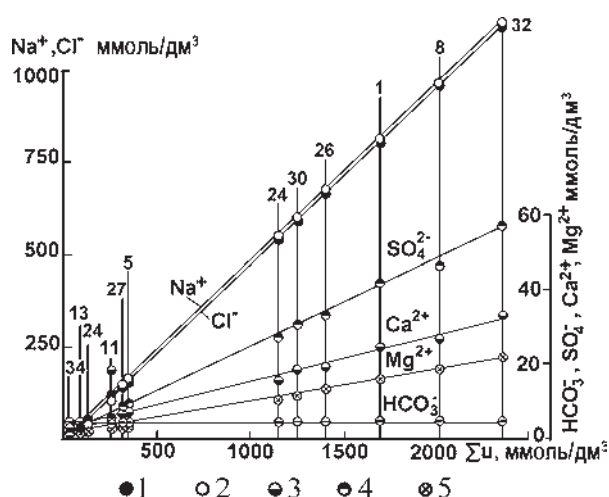
**Рис. 4.** Один из многочисленных сероводородных источников в долине р. Усолки. У источника профессор Р.Ф. Абдрахманов

**Fig. 4.** One of the many hydrogen sulfide springs in the valley of river Usolka. At the source, Professor R.F. Abdrakhmanov

их содержание (%) неуклонно снижается:  $\text{SO}_4^{2-}$  — от 8.0 до 5.4–4.5,  $\text{Ca}^{2+}$  — от 12.3 до 3.3–2.6,  $\text{Mg}^{2+}$  — от 4.2 до 2.1–1.8. Исключение составляет гидрокарбонат-ион, индифферентный к росту минерализации. Концентрация его остается примерно на одном уровне (0.2–0.32 г/дм<sup>3</sup>), а относительное содержание уменьшается от 12.1 до 0.3%.

Подобное распределение макрокомпонентов указывает на то, что формирование геохимической гаммы сероводородных вод месторождения Красноусольское 1 осуществляется при участии процесса смешения рассольных и пресных вод [Абдрахманов,

Попов, 1997]. Характер этого процесса показан на рис. 5. Для построения графика взяты в качестве исходных хлоридный натриевый рассол с минерализацией 77.5 г/дм<sup>3</sup>, вскрытый скважиной 5/87 глубиной 301 м на месторождении, и пресная (0.5 г/дм<sup>3</sup>) гидрокарбонатная кальциевая вода из скважины глубиной 10 м, используемая на курорте для питьевых целей (см. рис. 2). Как видно, серия промежуточных вод (Красноусольские источники), образующихся в результате смешения, подчиняется линейной зависимости А.Н. Огильви [1925]:  $y = ax + b$ , где  $x$  — минерализация воды,  $y$  — концентрация



**Рис. 5. График смешения Красноуольских минеральных вод**

Условные обозначения. 1–5 — химический состав вод: 1 — гидрокарбонатный кальциевый и магниевый-кальциевый, 2 — гидрокарбонатный натриевый и кальциевый-натриевый, 3 — сульфатный кальциевый и магниевый-кальциевый, 4 — сульфатный натриевый и кальциевый-натриевый, 5 — сульфатно-хлоридный и хлоридный кальциевый-натриевый и натриево-кальциевый.

**Fig. 5. Diagram of mixing of Krasnousolsk mineral waters**

Legend. 1–5 — the chemical composition of water: 1 — bicarbonate calcium and magnesium-calcium, 2 — bicarbonate sodium and calcium-sodium, 3 — sulphate calcium and magnesium-calcium, 4 — sulphate sodium and calcium-sodium, 5 — sulphate-chloride and calcium chloride sodium and sodium calcium.

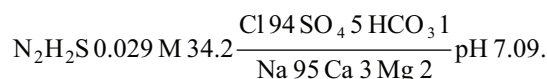
отдельного иона, а и b — параметры, общие для исходных и смешанных вод (а — тангенс угла наклона линии тренда к оси абсцисс, в — отрезок, отсекаемый линией тренда на оси ординат).

Фигуративные точки ионного состава промежуточных вод находятся на прямой, соединяющей точки исходных вод, или близки к ней. Линии натрия и хлора почти совпадают, свидетельствуя о том, что источником этих ионов является выщелачивание галита. Это отвечает условиям формирования сероводородных вод в слабoproмытых засоленных каменноугольных породах лагунно-морского происхождения в гидрогеодинамической зоне затрудненного водообмена на глубине >400–600 м<sup>1</sup>. РТ-параметры этой зоны и литолого-геохимическая

<sup>1</sup> Здесь и далее глубина формирования термальных струй, питающих источники в зонах разломов, определялась по формуле:  $H = (T_{ист} - T_{не}) / \Gamma + H_{не}$ , где  $T_{ист}$  — температура воды источника, °С;  $H_{не}$  и  $T_{не}$  — глубина залегания и температура нейтрального слоя;  $\Gamma$  — величина геотермического градиента, °С/100 м. В расчетах по этой формуле не учитывалось снижение температуры разгружающихся с глубины вод по мере их продвижения к поверхности, поэтому действительная глубина всегда будет несколько выше расчетной.

обстановка в ней (наличие сульфатов и органических веществ (ОВ), восстановительная среда) благоприятны для образования сульфидов за счет процесса сульфатредукции.

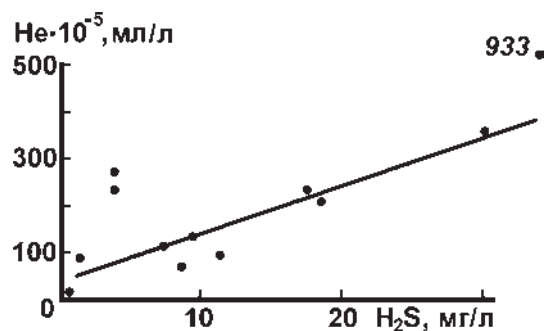
В наружных лечебных целях в санатории используются сульфидные хлоридные натриевые воды. Они добываются скважиной № 4-К на левом берегу р. Усолки. Скважина имеет глубину 23.3 м, пробурена в 1960 г. Рядом сооружена резервная скважина (скв. 4-Кр). В воде присутствуют (мг/дм<sup>3</sup>): бром 22.9; йод 1.7. Химический состав воды описывается формулой:



Согласно Методическим указаниям МЗ РФ № 2000/34 «Классификация минеральных вод и лечебных грязей для целей их сертификации» минеральные воды скважин 5/87 и 4-К относятся к подгруппе 2.5.4 Красноуольского типа.

Глубинный генезис минеральных вод месторождения подтверждается наличием в них высоких концентраций гелия (до  $9.3 \times 10^{-3}$  мл/л), обнаруживающего четкие корреляционные связи с хлором, сероводородом, йодом, бромом и температурой (рис. 6–9) [Абдрахманов, Попов, 1999, 2010].

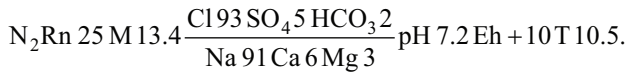
Месторождение Красноуольское 2 радоновых вод находится на территории курорта (см. рис. 2 и 10). Здесь, в основании левого склона долины р. Усолка, из-под четвертичных осадков выбивает грифон соленой воды с дебитом 0.1–0.2 л/с и  $T 10.0–10.5$  °С (на курорте известен как источник 11). Это бессульфидная хлоридная натриевая вода с повышенным содержанием кальция (10.3–14.4%), относящаяся к достаточно хорошо выраженному хлоркальциевому (Шб) типу, являющемуся основным



**Рис. 6. Связь между гелием и сероводородом**

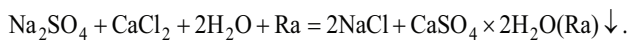
**Fig. 6. The relationship between helium and hydrogen sulfide**

геохимическим типом глубокозалегающих подземных вод. Солевой состав воды следующий (%): NaCl 81.4–85.9, MgCl<sub>2</sub> 3.8–4.2, CaCl<sub>2</sub> 1.6–6.7, CaSO<sub>4</sub> 4.4–4.9, Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 1.6–3.9. Минерализация воды в летнюю межень разных лет составляла 7.6–13.5 г/дм<sup>3</sup>, а величина отношения rNa/rCl 0.88–0.94. Специфический компонент газового состава воды — радон (38–68 ед. Махе или 13.8–24.7 нСи/дм<sup>3</sup>). Формула химического состава ее:



Формирование месторождения радоновых вод в долине Усолки связано с наличием в верхней части геологического разреза вторичных эманулирующих коллекторов. Это подтверждается высокими концентрациями радона (до 200 ед. Махе или 72.8 нСи/дм<sup>3</sup> и более) в водах карбонатных пород вблизи контакта их с рыхлыми песчано-глинистыми отложениями р. Усолки. Причем с глубиной содержание радона резко падает до нескольких единиц Махе.

Известными примерами обогащения радоном минеральных вод в толще аллювия при выходе их на поверхность являются воды Цхалтубо, Усть-Кута и Джеты-Огуза. Само же образование вторичных эманулирующих коллекторов Красноусольского месторождения, по нашему мнению, связано с соосаждением радия с кальциевыми солями при смешении поднимающихся с глубины субтермальных рассолов типа Шб (хлоркальциевого) с холодными пресными водами типа II (сульфатно натриевого), циркулирующими в верхней части разреза Усольской антиклинали. Этот процесс может быть выражен следующей формулой:



Отсюда становится понятным, что именно вблизи выхода единственного в своем роде источника 11 с водой хлоркальциевого типа и были обнаружены воды с наиболее высоким содержанием радона (175–210 ед. Махе, или 63.7–7.64 нСи/дм<sup>3</sup>). Не исключено, что определенную роль в накоплении радона в минеральных водах также играют эманулирующие коллекторы, образованные радием, сорбированным самими глинистыми породами из хлоридных рассолов.

Очевидно, струи хлоридных рассолов, формирующих месторождения Красноусольское 1 и Красноусольское 2, поднимаются по тектоническим трещинам с разных глубин (более 500–600 м),

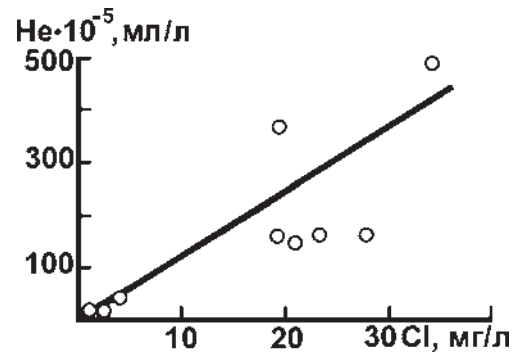


Рис. 7. Связь между гелием и хлором

Fig. 7. The relationship between helium and chlorine

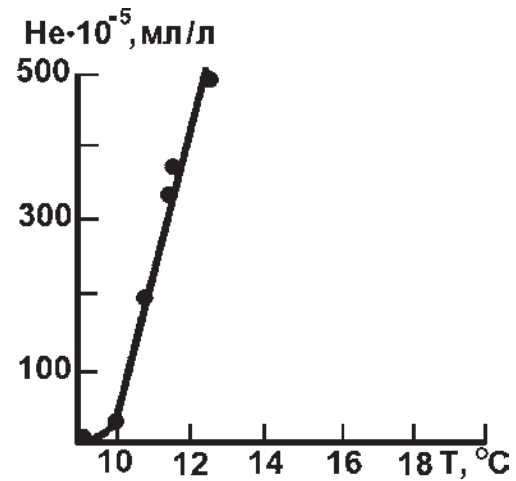


Рис. 8. Зависимость содержания гелия от температуры воды

Fig. 8. Dependence of helium content on water temperature

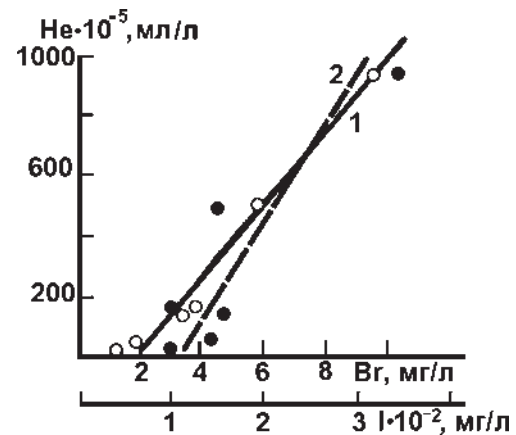


Рис. 9. Связь гелия с бромом (1) и йодом (2)

Fig. 9. The relationship of helium with bromine (1) and iodine (2)



Рис. 10. Месторождение минеральных радоновых вод (источник 11)

Fig. 10. Mineral radon water deposit (source 11)

не смешиваясь друг с другом. Этим объясняется специфический ионно-солевой и газовый состав воды источника 11 и отсутствие прямой корреляции между минерализацией и содержанием отдельных компонентов, присущей источникам месторождения Красноусольское 1 (см. рис. 5). Наличие глубинной составляющей в воде радонового источника подчеркивается содержанием в ней гелия  $3.1 \times 10^{-4}$  мл/л, что на порядок выше фоновой концентрации.

Среднеминерализованные (сильносолоноватые) радоновые воды, содержащие среди солей  $\text{CaCl}_2$ , в природе встречаются очень редко (Джеты-Огуз в Киргизстане, Кройцнах и Таале в Германии). Лечебные свойства их оцениваются высоко.

Из биологически активных компонентов в бальнеологически значимых концентрациях в воде источника содержатся ОВ ( $C_{\text{орг}}$  11.9 мг/дм<sup>3</sup>). Остальные терапевтически активные компоненты присутствуют в сравнительно небольших количествах (мг/дм<sup>3</sup>): бром 1.49, йод 0.34, мышьяк до 0.01, железо <0.05, ортоборная кислота 3.60, метакремниевая кислота 14.5.

Токсичные, радиоактивные и другие регламентируемые компоненты (железо, кобальт, ванадий,

барий, цинк, медь, алюминий, никель, селен, ртуть, хром, марганец, свинец, стронций, мышьяк, литий, кадмий, альфа- и бета-активность, фтор, полифосфаты, фенолы, нитриты, нитраты, аммоний, перманганатная окисляемость,  $C_{\text{орг}}$ ) в воде источника 11 находится в концентрациях, допустимых для минеральных питьевых лечебных вод. Органолептические свойства воды (внешний вид, вкус, цвет, запах) удовлетворяют требованиям для минеральных питьевых вод.

Месторождение минеральных вод *Красноусольское 3* (см. рис. 2 и рис. 11) в геохимическом отношении занимает особое положение. Оно расположено в 1.5 км западнее курорта и представлено источником Горький Ключ (источник 12). Дебит его 40 л/с,  $T$  воды 6.1–6.5 °С. Генетически он не относится непосредственно к Красноусольской группе минеральных вод и приурочен к закарстованным гипсам кунгура, слагающим правый склон долины р. Усолки. Вода источника по составу сульфатная кальциевая с минерализацией 2.2 г/дм<sup>3</sup>:

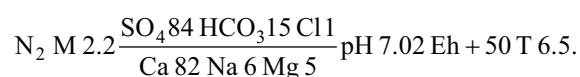




Рис. 11. Месторождение сульфатных минеральных вод (Красноусольское 3).  
У источника профессор Р.Ф. Абдрахманов

Fig. 11. Spring of sulfate mineral waters (Krasnousolskoe 3)

Водорастворенные соли представлены (%):  $\text{CaSO}_4$  77,  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  15,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  7. От вод Красноусольских источников примерно того же уровня минерализации она отличается несколько пониженным содержанием йода ( $0.001 \text{ мг/дм}^3$ ) и брома ( $0.8 \text{ мг/дм}^3$ ). Воды данного источника в соответствии с ГОСТ Р 54316-2011 «Воды минеральные природные питьевые. Общие технические условия» относятся к Краинскому типу XI группы сульфатных кальциевых минеральных вод. Биологически активные компоненты в воде источника 12 содержатся в небольших количествах и по результатам проведенного анализа составляют ( $\text{мг/дм}^3$ ): бром 0.75, йод 0.34, мышьяк до 0.01, метакремниевая кислота 14.2, ортоборная кислота 2.29, ОВ ( $\text{C}_{\text{орг}}$ ) 2.82. По активной реакции среды, характеризующейся величиной  $\text{pH} = 7.2$ , исследованная вода является нейтральной. Содержание токсичных, радиоактивных и других регламентируемых компонентов находится в допустимых для минеральных лечебно-столовых вод концентрациях.

Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых для курорта Красноусольск по кате-

гориям А и В утверждены следующие балансовые эксплуатационные запасы минеральных вод (табл.).

Международная комиссия по стратиграфии официально признала геологический разрез «Усолка» эталонным геологическим объектом — глобальным парастратотипом границы каменноугольной и пермской систем. Здесь забит первый в России «Золотой гвоздь» (см. рис. 2; подробнее — в статье В.Н. Пучкова в предыдущем выпуске журнала).

**Стерлитамакские месторождения минеральных вод** расположены в пределах выровненной неоген-четвертичной долины р. Белой и представлены двумя месторождениями.

Одно месторождение разведано по заказу Стерлитамакского комбината пиво-безалкогольных напитков «Шихан» в 1997 г., а второе — для обеспечения минеральными лечебными водами санатория-профилактория «Белая береза» на 600 мест завода синтетического каучука.

Комбинат «Шихан» расположен на юго-западной окраине г. Стерлитамак на абс. отметках 150–152 м. Здесь пробурены две скважины (№ 1 и № 2). Скважиной 2 на глубине 58–65 м в неогеновых

Таблица

Эксплуатационные запасы минеральных вод курорта Красноусольск [Абдрахманов и др., 2006]

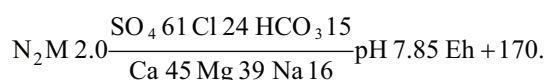
Table

Operational reserves of mineral waters of the Krasnousolsk resort [Abdrakhmanov et al., 2006]

Тип вод (назначение использования)	М, г/дм <sup>3</sup>	Содержание специфических микрокомпонентов	Эксплуатационные запасы по категориям, м <sup>3</sup> /сут.		Номера скв. и источников, обосновывающих запасы
			А	В	
Маломинерализованные сульфатные кальциевые (для лечебно-питьевых целей)	1.7–2.5	–	854	–	12
Очень слаборадоновые среднеминерализованные хлоридные натриевые (для лечебно-питьевых целей и бальнеолечения)	7–15	Радон 7–20 нСи/дм <sup>3</sup>	5	–	11
Высокоминерализованные хлоридные натриевые (для бальнеолечения)	30–40	–	190	–	4К
Слабосульфидные хлоридные натриевые рассолы (для бальнеолечения)	60–70	Сульфиды 30–40 мг/дм <sup>3</sup>	285	–	4/81
Сульфидные средней концентрации хлоридно-натриевые рассолы (для бальнеолечения)	70–80	Сульфиды 70–80 мг/дм <sup>3</sup>	–	240	1/79

песчаных отложениях вскрыты слаборазогнанные воды. Дебит скважины 0.7 л/с при понижении уровня на 36 м (от статического 45 м).

Согласно заключению ЕМНЦ, вода имеет следующий состав:

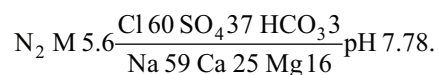


Биологически активные компоненты в исследованной воде присутствуют в небольших количествах (мг/дм<sup>3</sup>): бром — 0.32–0.7; йод — 0.17–0.2; железо — до 2.5; мышьяк — 0.01; ортоборная кислота — 0.6–2.5; метакремниевая кислота — 0.17–20.0. Органические вещества представлены следующими фракциями (мг/дм<sup>3</sup>): спирторастворимые соединения — 1.5; нейтральные битумы — 1.5; кислые битумы — 2.0. Суммарное содержание органических веществ по фракциям составляет 5.0 мг/дм<sup>3</sup>. В связи с низким содержанием биологически активных компонентов лечебное действие данной минеральной воды определяется ее основным ионным составом и минерализацией.

Анализ физиологических групп бактерий показывает, что вода обладает характерными для ее состава группами микроорганизмов: преобладают аммонифицирующие, нитрифицирующие, денитри-

фицирующие и маслянокислые бактерии. Согласно ГОСТ Р 54316-2011 «Воды минеральные природные питьевые. Общие технические условия», по основному химическому составу она близка к типу Ижевский 1.

Скважина 1, пробуренная в 7 м от скважины 2, в песчано-гравийных плиоценовых отложениях в интервале 94.0–106.5 м вскрыла минеральные воды (дебит 1.9 л/с при понижении на 7 м) сульфатно-хлоридного кальциево-натриевого состава с минерализацией 5.61 г/дм<sup>3</sup>. Химический состав воды достаточно стабилен и, по данным анализа отдела курортных ресурсов ЕМНЦ, описывается следующей формулой:



Содержание биологически активных компонентов следующее (мг/дм<sup>3</sup>): бром — 0.37–1.4; йод — 0.17–0.20; железо — 0.5; мышьяк — до 0.01; метакремниевая кислота — 20.2–20.4; ортоборная кислота — 5.1–8.0. В составе органических веществ кислые битумы составляют 3.6, спирторастворимые соединения 2.0, нейтральные битумы — 1.65 мг/дм<sup>3</sup>. Суммарное содержание органических веществ по фракциям — 7.25 мг/дм<sup>3</sup>.

Анализ основных физиологических групп бактерий показывает, что в воде скв. 1 достаточно интенсивно протекают процессы круговорота азота и углерода. Об этом свидетельствуют содержащиеся в воде в большом количестве (25 000 бактерий в 1 мл) аммонифицирующие, нитрифицирующие, денитрифицирующие и маслянокислые бактерии. В связи с наличием в воде сульфат-ионов и присутствием в ней органических веществ, в небольшом количестве установлены сульфатредуцирующие бактерии. Клетчаткоразрушающие и тионовые бактерии не обнаружены. В целом микробиологические показатели воды — удовлетворительные.

Химические вещества, обладающие в определенных концентрациях токсическим действием или оказывающие неблагоприятное влияние на органолептические свойства воды (железо, кобальт, ванадий, барий, цинк, медь, алюминий, никель, селен, ртуть, хром, марганец, свинец, мышьяк, литий, кадмий, уран, стронций-90, цезий-137, калий-40, радий-226, торий-222, нитриты, нитраты, аммоний, фториды, полифосфаты, фенолы), в исследованной воде находятся в допустимых для минеральных вод концентрациях. Органолептические показатели воды (внешний вид, цвет, запах, вкус) удовлетворяют требованиям, предъявляемым к минеральным водам. Санитарно-бактериологическое состояние воды — удовлетворительное.

Сульфатно-хлоридная кальциево-натриевая маломинерализованная вода скв. 1, согласно ГОСТ Р 54316-2011 «Воды минеральные природные питьевые. Общие технические условия», относится к Ергенинскому типу, разливается Стерлитамакским комбинатом пиво-безалкогольных напитков как минеральная вода Шихан 1.

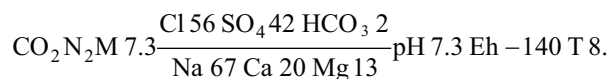
Для санатория-профилактория «Белая Береза» в 2 км западнее комбината пиво-безалкогольных напитков пробурены три скважины (№№ 4/87, 2/85 и 1/85) на разные типы минеральных вод.

*Месторождение 26/3* вскрыто скважиной 4/87, пробуренной в 1987 г. на территории гидроминеральной площади санатория, в 50 м от здания аэрария. Абсолютная отметка устья 170 м, глубина 162 м. Статический уровень — 36.5 м, дебит — 2.35 л/с при понижении уровня воды на 1.7 м (удельный дебит 1.4 л/с).

Водоносны пески и галечники нижней части (112–162 м) неогеновой системы. Водоупор между неогеновыми и подстилающими их отложениями уфимского яруса (Р<sub>и</sub>) отсутствует. Поэтому считается [Кузнецов и др., 1989 г.], что химический состав вод продуктивного горизонта формируется

за счет перетоков из уфимского комплекса, заключающего напорные воды.

Химический состав воды выражается формулой:

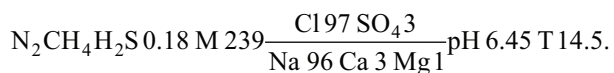


Водорастворенные соли (%): NaCl — 56, CaSO<sub>4</sub> — 18, MgSO<sub>4</sub> — 13, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> — 9. В микрокомпонентном составе обнаружены (мг/дм<sup>3</sup>): бром — 7, стронций — 4, аммоний — 4, фтор — 0.5, литий — 0.1. Содержание кремнекислоты 11 мг/дм<sup>3</sup>, а борной — 10 мг/дм<sup>3</sup>. По газовому составу вода относится к углекисло-азотному типу. Общее количество растворенного газа составляет 33 см<sup>3</sup>/дм<sup>3</sup>, содержание (%): N<sub>2</sub> — 74, CO<sub>2</sub> — 21, Ar — 3, O<sub>2</sub> — 0.7. Органические вещества в воде отсутствуют, концентрация токсичных элементов (селен, ртуть, хром, ванадий и др.) не превышает ПДК для минеральных питьевых вод.

Согласно заключению ВНЦМРиФТ (от 18 сентября 1989 г.) и разработанной нами типизации минеральных вод Башкортостана, близким аналогом данной воды является сульфатно-хлоридная кальциево-натриевая вода Ергенинского типа. По ГОСТ Р 54316-2011 «Воды минеральные природные питьевые. Общие технические условия» вода санатория-профилактория «Белая береза» и скважин 1 и 2 комбината пиво-безалкогольных напитков относится к лечебно-столовым и рекомендуется для лечения хронических гастритов с нормальной, повышенной и пониженной секреторными функциями желудка, неосложненной язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки, а также в постоперационном периоде по поводу язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки, дискинезии кишечника, хронических заболеваний печени и желчевыводящих путей, хронических панкреатитов, болезней обмена веществ. Может быть использована как в условиях санаторно-курортных учреждений, так и для розлива.

Месторождение минеральных вод *Стерлитамакское 2* залегает в карбонатных отложениях нижней перми на глубине 575–1005 м. Оно вскрыто и опробовано скважиной 2/85, дебит которой составил 0.32 л/с (27.6 м<sup>3</sup>/сут) при понижении уровня воды от статического (81.5 м) на 64 м. В физико-химическом отношении это хлоридные натриевые сероводородные (H<sub>2</sub>S 100–176 мг/дм<sup>3</sup>) рассолы (до 240 г/дм<sup>3</sup>) с температурой 14.5 °С, pH 6.3–6.6. В воде содержатся повышенные концентрации брома

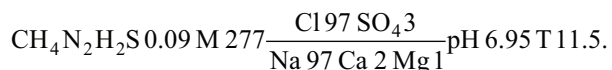
(100–125 мг/дм<sup>3</sup>) и бора Н<sub>3</sub>ВО<sub>3</sub> (130–180 мг/дм<sup>3</sup>). Состав воды следующий:



В рассолах в небольших количествах обнаружены также (мг/дм<sup>3</sup>): литий — 2, стронций — 10, аммоний — 6, органические вещества — 0.44, кремниевая кислота — 1. Хлоридная натриевая вода данного месторождения относится к группе крепких сероводородных, поскольку содержание Н<sub>2</sub>S в ней превышает 100 мг/дм<sup>3</sup>, что обеспечивает его присутствие в кондиционных количествах (более 10 мг/дм<sup>3</sup>) в приготовленных для бальнеопроцедур водах путем 5–6-кратного разбавления рассолов. Что же касается брома и бора (Н<sub>3</sub>ВО<sub>3</sub>), то при разбавлении рассолов до минерализации порядка 40 г/дм<sup>3</sup> (в готовой для лечебного использования воде) их содержание будет почти всегда ниже установленных кондиций (25 и 35 мг/дм<sup>3</sup> соответственно). Это обстоятельство не позволяет отнести рассольные воды скважины 2/85 к группе бромных–борных. При этом следует иметь в виду, что бальнеологическая активность сероводорода намного выше активности брома и бора, и даже относительно невысокие в приготовленной для бальнеолечения воде концентрации сульфидов оказывают большее лечебное воздействие, нежели наличие других специфических компонентов (бром, бор и др.), поскольку Н<sub>2</sub>S подавляет их физиологическое воздействие.

При необходимости для обеспечения более щадящего воздействия рассол можно разбавить в 7 раз. В этом случае получим сероводородную (Н<sub>2</sub>S 15–23 мг/дм<sup>3</sup>) хлоридную натриевую (28–32 г/дм<sup>3</sup>) минеральную воду с повышенным содержанием брома (от 14 до 18 мг/дм<sup>3</sup>) и бора (19–26 мг/дм<sup>3</sup>).

Скважина 1/85 вскрыла в верхне- и среднекаменноугольных известняках и доломитах в интервале 1452–1726 м (дебит 10 м<sup>3</sup>/сутки) рассолы с минерализацией 245–285 г/дм<sup>3</sup> (в среднем 277 г/дм<sup>3</sup>) следующего состава:



Рассолы содержат сероводород (60–90 мг/дм<sup>3</sup>), бор (Н<sub>3</sub>ВО<sub>3</sub> 130–160 мг/дм<sup>3</sup>), имеют температуру 11.5 °С, pH 6.95. Содержание токсичных компонентов, а также санитарно-бактериологические показатели в пределах нормы.

Скважина 1/85 была пробурена с целью получения бромных рассолов. Но фактический разрез не совпал с проектным. Здесь бессероводородные бромные рассолы залегают на глубине 2000–2200 м. Кроме того, в заключении Уральской гидрогеологической партии «Лечминресурсы» отмечается высокая проницаемость каменноугольного комплекса, поэтому он используется для захоронения промышленных стоков г.г. Стерлитамака и Салавата. В связи с этим разведка минеральных вод в нем сейчас и в будущем вряд ли целесообразна, поскольку уже в настоящее время в комплексе имеются очаги загрязнения.

В Башкирском Предуралье в бассейне реки Белая к середине 90-х годов было проведено семь подземных ядерных взрывов: два для захоронения стоков завода «Салаватнефтеоргсинтез» («Кама-1», в 25 км к западу от г. Салават) и АО «Башкирская содовая компания» («Кама-2», в 28 км западнее г. Стерлитамак, см. рис. 1), пять для увеличения нефтеотдачи пластов. В 1965 г. в СССР были проведены **два первых (в мирных целях) камуфлетных<sup>1</sup> взрыва** — для интенсификации притока нефти на Грачевском нефтяном месторождении Башкортостана (близ Мелеуза) [Емельянов, 1997]. Объектом для закачки промышленных стоков выбран визейско-башкирский карбонатный комплекс, залегающий на глубине более 2 км и экранированный глинистыми породами. В ноябре 1974 г. во время бурения прокольной скважины на полигоне «Кама-1» произошел аварийный выброс пароводяной смеси, вызвавший радиоактивное загрязнение местности [Абдрахманов, 1993, 2019]. Замеры радиационного фона в 1991 г. в районе скважины показали несколько тысяч мкР/ч, в закрытой зоне — 180–250 мкР/ч, в районе насосной станции — 55 мкР/ч. В настоящее время максимальная мощность радиационного фона достигает 250 мкР/ч.

Естественно, что в подобной ситуации обводненная трещинно-пластовая система верхнего–среднего карбона в районе г. Стерлитамака месторождением минеральных вод признана быть не может [Кузнецов и др., 1989 г.].

В настоящее время в лечебных целях используются воды только скважины 4/87. В целом в результате разведочных работ в г. Стерлитамаке создана надежная гидроминеральная база, что намного

<sup>1</sup> Камуфлетным называется взрыв, произведенный столь глубоко под землей, что полость взрыва не сообщается с земной поверхностью. В случае ядерного камуфлетного взрыва это означает, что происходит полное захоронение радиоактивных продуктов взрыва под землей [Емельянов, 1997].

расширяет лечебные возможности санатория-профилактория «Белая береза», поскольку каптированные минеральные воды отличаются весьма широким спектром их использования для лечения самых различных заболеваний. Кроме того, при наличии сероводородных рассольных вод появляется возможность более качественной регенерации применяемой в настоящее время лечебной грязи (ее обогащение сульфидами), что также расширяет количество и качество методов ее лечебного использования.

Учитывая очень сложную экологическую обстановку в г. Стерлитамаке и прилегающих к нему индустриальных центрах (г.г. Ишимбай, Салават), где сконцентрировано много крупных предприятий нефтеперерабатывающей и химической промышленности, и связанный с этим рост самых различных заболеваний среди населения, выполненные геологоразведочные работы являются весьма важными и актуальными.

**Таш-Астинский минеральный источник** (см. рис. 1) расположен в восточной части острова р. Зилим, напротив западной окраины д. Таш-Асты Гафурийского района. Севернее источника на крутом склоне долины (гора Уклы-Кая) с превышением над уровнем реки до 170 м обнажаются известняки среднекаменноугольного возраста (московский ярус). Слои этих пород образуют антиклинальную складку. Выход минеральных вод с дебитом 35–40 л/с, восходящего типа в виде грифонов из аллювиальных отложений, находится в 10–12 м от русла реки. Температура воды 7–7.5°C. В источнике отмечается небольшое скопление грязи с запахом сероводорода, используемой местными жителями в лечебных целях.

Вода источника имеет хлоридный натриевый состав, тип II, минерализацию от 2.1 до 3 г/дм<sup>3</sup>. Концентрация микроэлементов составляет (мг/дм<sup>3</sup>): брома — 0.13, бора — 0.05, фтора — 0.12. Содержание кислорода в воде 2.5 мг/дм<sup>3</sup>. Величина pH колеблется от 7 до 8.3, Eh составляет +120 мВ. Содержание гелия, характеризующее глубину разгрузки —  $(41–53) \times 10^{-5}$  мл/л.

**Талалаевские минеральные источники** (см. рис. 1) находятся у восточной окраины д. Талалаевка Стерлитамакского района, на первой надпойменной террасе р. Месселька. Они представлены двумя выходами. Разгрузка минеральных вод происходит из кунгурских гипсов, подстилающих озерно-болотные отложения плейстоцена.

Первый источник приурочен к основанию левого склона (у тылового шва) долины, в 150 м

от русла с превышением 3 м. Выход восходящего типа со дна циркуобразного понижения. Дебит его 0.1 л/с, температура воды 8–9.5°C. Дно понижения заболочено. Ближе к реке это понижение сливается с озером, на дне которого отмечено накопление сероводородной грязи. По данным Г.В. Вахрушева [1961], на ее базе с 1850 г. в течение нескольких лет существовал небольшой курорт.

Второй источник расположен в 0.3 км выше по долине от источника 1, в 20 м от пруда с превышением 2 м над урезом воды. Он также восходящего типа, в виде нескольких мелких грифонов, дебитом 0.3–0.4 л/с. Температура воды 5–7°C.

Состав вод обоих источников сульфатный кальциевый, минерализация их 2.3–2.5 г/дм<sup>3</sup>, тип II, pH 6.7–7.7. Содержание микроэлементов составляет (мг/дм<sup>3</sup>): йода — 0.005, брома — 0.31, бора — 0.25, фтора — 0.4–0.88. Концентрация гелия в воде небольшая —  $(5–10) \times 10^{-5}$  мл/л. В настоящее время в лечебных целях не используются.

**Байгузинский минеральный источник** (см. рис. 1) находится в 0.8 км юго-восточнее д. Байгузино Ишимбайского района, в основании правого склона долины р. Тайрюк, в 20 м от старого русла, с превышением над урезом воды 2 м. Источник сосредоточенный, восходящий, с дебитом 2 л/с. Водоносными являются кунгурские породы, подстилающие почвенно-суглинистые отложения. Приурочен этот источник к зоне Шихано-Волостновского надвига, трассирующегося во внешней части Предуральяского краевого прогиба.

Состав воды источника сульфатный кальциевый, натриево-кальциевый, минерализация 2.3–3.5 г/дм<sup>3</sup>, тип II. В микрокомпонентном составе присутствуют (мг/дм<sup>3</sup>): йод — 0.002, бром — 1.95, бор — 0.1, фтор — 0.3. Величина pH 6.9, а Eh (–5) мВ. Температура воды 6.5°C. Для источника характерно повышенное содержание гелия ( $73 \times 10^{-5}$  мл/л).

### Гидрогеоэкологические проблемы района геопарка «Торатау»

Гидрогеохимическими исследованиями в бассейне среднего течения р. Белой выявлена значительная загрязненность почв, горных пород и подземных вод продуктами нефтехимических, химических и других предприятий. Установлено, что левобережная часть долины р. Белой в пределах I и II надпойменных террас на протяжении многих десятилетий находится в зоне воздействия нефтехимических производств г.г. Ишимбая, Салавата

и Стерлитамака. Грунты насыщены нефтепродуктами не только в пределах самих производств, но и далеко за их пределами. В подземных водах хлоридного, хлоридно-гидрокарбонатного магниево-натриевого, кальциево-магниево-натриевого, натриево-аммонийного состава ( $M$  0.7–1.8 г/дм<sup>3</sup>, рН 7.3–7.9) обследованной территории обнаружены нефтепродукты, азот аммонийный, сульфаты, хлориды, нитриты, сульфиды, железо, ртуть, ПАВ, фенол и алкилфенолы, бензол и алкилбензолы, изомеры спиртов, алкалфталаты, бензойная кислота, карбоновые кислоты, ПАУ (в том числе бенз(а)пирен) и др., превышающие ПДК от 2–6 до 67–82 раза. Территория левобережья р. Белой между городами Ишимбай и Салават (25–27 км) загрязнена нефтепродуктами на всю проницаемую толщу горных пород. Нефтепродукты движутся по направлению потока подземных вод (уклоны 0.0009–0.005, скорости 0.6–4 м/сут) и разгружаются из аллювия (песчано-гравийных пород) на обрывистых берегах речных террас.

Крупным источником техногенного влияния на подземные и поверхностные воды в районе г. Стерлитамак являются сточные воды АО «Башкирская содовая компания». Сырьем для производства соды являются органометаллические известняки (CaCO<sub>3</sub>) шихана Шахтау и соли (NaCl) Яр-Бишкарского месторождения, расположенного в 13 км южнее города на правом берегу р. Белой (северная окраина г. Ишимбай) в нижнепермских образованиях Бельского прогиба.

Структурные и фильтрационные изменения глинистых пород, как противифльтрационного экрана довольно детально изучены в шламонакопителях («Белых морях» площадью около 450 га), расположенных на первой надпойменной террасе р. Белой. Потеря высокоминерализованных (170 г/дм<sup>3</sup>) стоков (Cl–Ca состава) при ежесуточной их подаче до 50 тыс. м<sup>3</sup> достигает 1.5–5 тыс. м<sup>3</sup>/сут. и вызывает изменение минерализации подземных вод до 30–50 г/дм<sup>3</sup> на глубину до 30 м.

В качестве противифльтрационного в шламонакопителях принят глинистый экран. Он создавался из местных четвертичных тяжелых суглинков мощностью 0.4 м, плотностью объема веса скелета 1.55–1.60 г/см<sup>3</sup> при влажности 25–30% с коэффициентом пористости <0.8. Ниже экрана залегают четвертичные суглинки и глины мощностью 2–3 м. В процессе эксплуатации шламонакопителей шло обогащение солями глинистого экрана и подстилающих суглинков. Часть жидких стоков, насыщенных технологическими продуктами, проникает

в горные породы на значительную глубину [Абдрахманов, 2018].

При многолетних сроках эксплуатации в глинистых экранах происходят структурные изменения за счет роста кристаллов солей на поверхности глинистых частиц и в поровом пространстве. А это, в свою очередь, приводит к изменению фильтрационных свойств глинистого экрана. Установлено, что количественное содержание водорастворимых солей в глинистом экране и подстилающих четвертичных грунтах имеет тесную корреляционную связь с коэффициентом пористости.

Рост кристаллов солей, находящихся в ограниченном поровом пространстве, создает значительное кристаллизационное давление, которое раздвигает минеральную скелетную часть грунта, увеличивая его пористость. В поровом пространстве образуются кристаллы соли CaCl<sub>2</sub> и NaCl [Абдрахманов, 1993, 2005]. С увеличением пористости сильно возрастает проницаемость глинистых пород. С начала эксплуатации прудов-накопителей коэффициент фильтрации суглинков под глинистым экраном повысился в среднем в 10 раз. Особенно сильно изменилась фильтрационная способность нарушенных грунтов глинистого экрана: за 2-годовой срок эксплуатации коэффициент пористости увеличился в 1.2 раза, коэффициент фильтрации — в 10 раз, за 4-годовой соответственно в 1.4 и в 130 раз, за 7-летний — в 1.7 раза и в 180 раз, за 17-летний — в 2.1 раза и в 5300 раз.

Естественно, при этом происходит не только засоление пород, зоны аэрации непосредственно под дном шламонакопителей (до создания емкостей минерализация грунтовых вод 0.5–0.7 г/дм<sup>3</sup>), но и загрязнение хлоридными солями вод аллювиального горизонта р. Белой на значительной территории.

Расчеты методом моделирования показали, что влияние подземного стока в результате фильтрации сточных вод из «Белых морей» АО БСК на качество Бельской речной воды вполне соизмеримо с влиянием поверхностных источников загрязнения. Это подтверждает необходимость прогнозирования количества солей, поступающих в р. Белую с грунтовыми водами при разработке мероприятий по защите реки от загрязнения.

Важно подчеркнуть длительный период нахождения загрязняющих веществ в водоносных горизонтах. По данным натурных наблюдений и расчетам [Абдрахманов, 2005] он достигает многих десятков и даже сотен лет. Это связано с тем, что для полного вывода загрязненных вод из горизонта

требуется несколько циклов полного водообмена. А продолжительность только одного цикла в зоне активной циркуляции Предуралья изменяется от 10–20 лет для интенсивно трещиноватых и закарстованных сульфатно-карбонатных пород до 100 лет для глинистых терригенных пород. Таким образом, процессы самоочищения водоносных горизонтов и восстановление природных условий даже после ликвидации источника загрязнения продолжают в течение десятков и даже сотен лет, т.е. превышают время жизни одного поколения.

### Заключение

Территория геопарка «Торатау», несомненно, представляет большой интерес в связи с наличием на ней уникальных природных гидрогеологических объектов. Тем не менее экологическое загрязнение территории вызывает большое беспокойство. Правительство Российской Федерации в рамках направления «Чистая страна» национального проекта «Экология» проводит рекультивацию объектов накопленного вреда, в том числе на свалках промышленных отходов. К сожалению, территория геопарка в этот проект не входит, хотя она также нуждается в рекультивации. Здесь, как и в других индустриально развитых регионах России, необходимо создание новых природоохранных защитных систем, которые будут препятствовать негативному техногенному воздействию на окружающую среду, применению последних мировых разработок по складированию и переработке промышленных и бытовых отходов с использованием противифльтрационных многослойных экранов с геомембраной, создание серьезной системы мониторинга воздействия промышленных полигонов на окружающую среду.

С развитием геоинформационных систем компьютерная картография стала активно применяться в различных сферах: геологии, гидрогеологии, геоэкологии и многих других областях. Создание геоинформационной системы геопарка «Торатау» позволит оценить комплекс природных условий геопарка, экологическую обстановку территории, наиболее значимые геологические, гидрогеологические, геоморфологические и другие природные объекты. Геоинформационная система позволит отслеживать изменения как в конкретных объектах, так и в условиях всего геопарка под действием антропогенных и природных факторов, оценивать степень влияния этих факторов и их трансформацию с течением времени.

*Работа выполнена по теме № 0246-2019-0086.*

### Список литературы:

- Абдрахманов Р.Ф.* Техногенез в подземной гидросфере Предуралья. – Уфа: УНЦ РАН, 1993. – 208 с.
- Абдрахманов Р.Ф.* Гидрогеоэкология Башкортостана. – Уфа: Информреклама, 2005. – 344 с.
- Абдрахманов Р.Ф.* Пресные подземные и минеральные лечебные воды Башкортостана. – Уфа: Гилем, Башк. энцикл., 2014. – 416 с.
- Абдрахманов Р.Ф.* Фильтрационные свойства неоген-четвертичных глинистых отложений и изменение их под влиянием техногенеза // Геологический вестник. – 2018 – № 2. – С. 118–124. doi.org/10.31084/2619-0087/2018-2-9.
- Абдрахманов Р.Ф.* Проблема удаления жидких промышленных стоков в глубокие водоносные горизонты // Геологический вестник. – 2019. – № 1. – С. 159–165. doi.org/10.31084/2619-0087/2019-1-13.
- Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г.* Исследование процессов смешения подземных вод в природных и техногенно нарушенных условиях // Водные ресурсы. – 1997. – Т. 24, № 6. – С. 655–663.
- Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г.* Минеральные лечебные воды Башкортостана. – Уфа: Гилем, 1999. – 298 с.
- Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г.* Геохимия и формирование подземных вод Южного Урала. – Уфа: Гилем, 2010. – 420 с.
- Абдрахманов Р.Ф., Мазитов Ф.Х., Загидуллин Ш.З.* Природные лечебные ресурсы курорта «Красноусольск» // Вестник АН РБ. – 2006. – Т. 11, № 3. – С. 49–55.
- Алексин О.А.* Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1970. – 442 с.
- Вахрушев Г.В.* Минеральные воды и грязи Башкирии. – Уфа: Башкнигоиздат, 1961. – 156 с.
- Геологическая карта Урала. М 1:500 000. – М., 1979.
- Емельянов Б.М.* Раскрывая первые страницы. – Екатеринбург: Уральский рабочий, 1997. – 344 с.
- Корф Е.Д.* Геопарк как платформа эффективного взаимодействия общества и природы // Наука и туризм: стратегии взаимодействия. – 2015. – Вып. 4(2). – С. 5–9.
- Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М.* Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. – М.: ЦентрЛитНефтеГаз, 2012. – 672 с.
- Огильви А.Н.* К вопросу о методике изучения минеральных источников // Труды бальнеол. ин-та Кавк. минер. вод. Т. 2. – Пятигорск, 1925. – С. 3–7.
- Попов В.Г., Абдрахманов Р.Ф.* Ионнообменная концепция в генетической гидрогеохимии. – Уфа: Гилем, 2013. – 356 с.
- Посохов Е.В.* Общая гидрогеохимия. – Л.: Недра, 1975. – 208 с.

### References:

- Abdrakhmanov R.F.* Tekhnogenez v podzemnoi gidrosfere Predural'ya [Technogenesis in the underground hydrosphere in Cis-Urals]. Ufa: UNTs RAS, 1993. 208 p. (In Russian).

- Abdrakhmanov R.F.* Hidrogeoeologiya Bashkortostana [Hydrogeocology of Bashkortostan]. Ufa: Informreklama, 2005. 344 p. (In Russian).
- Abdrakhmanov R.F.* Presnye podzemnye i mineral'nye lechebnye vody Bashkortostana [Fresh Groundwater and Mineral Medicinal Water Reserves of Bashkortostan]. Ufa: Gilem Publ., 2014. 416 p. (In Russian).
- Abdrakhmanov R.F.* Fil'tratsionnye svoystva neogenchetvertichnykh glinistykh otlozhenii i izmenenie ikh pod vliyaniem tekhnogeneza [Filtration properties of the Neogene-Quaternary clay deposits and their changes under the influence of technogenesis] // *Geologicheskii vestnik*. 2018. No. 2. P. 118–124. doi.org/10.31084/2619-0087/2018-2-9. (In Russian).
- Abdrakhmanov R.F.* Problema udaleniya zhidkikh promyshlennykh stokov v glubokie vodonosnye gorizonty [The problem of removal of liquid industrial effluents in deep aquifers] // *Geologicheskii vestnik*. 2019. No 1. P. 159–165. doi.org/10.31084/2619-0087/2019-1-13. (In Russian).
- Abdrakhmanov R.F., Popov V.G.* Issledovanie protsessov smesheniya podzemnykh vod v prirodnykh i tekhnogenno narushennykh usloviyakh [Investigation of groundwater mixing processes in natural and technologically disturbed conditions] // *Vodnye resursy*. 1997. Vol. 24, No. 6. P. 655–663. (In Russian).
- Abdrakhmanov R.F., Popov V.G.* Mineral'nye lechebnye vody Bashkortostana [Mineral medicinal waters of Bashkortostan]. Ufa: Gilem, 1999. 208 p. (In Russian).
- Abdrakhmanov R.F., Popov V.G.* Geokhimiya i formirovaniye podzemnykh vod Yuzhnogo Urala [Geochemistry and Groundwater Formation in the South Urals]. Ufa: Gilem Publ., 2010. 420 p. (In Russian).
- Abdrakhmanov R.F., Mazitov F.Kh., Zagidullin Sh.Z.* Prirodnye lechebnye resursy kurorta «Krasnousol'sk» [Natural healing resources of the resort «Krasnousolsk»] // *Vestnik AS RB*. 2006. Vol. 11, No 3. P. 49–55. (In Russian).
- Alekin O.A.* Osnovy gidrokhimii [Basics of Hydrochemistry]. L.: Gidrometeoizdat Publ., 1970. 442 p. (In Russian).
- Geologicheskaya karta Urala [Geological map of the Urals]. 1:500000. M., 1979. (In Russian).
- Emel'yanov B.M.* Raskryvaya pervye stranitsy [Opening the first pages]. Ekaterinburg: «Ural'skiy rabochiy» Publ., 1997. 344 p. (In Russian).
- Korf E.D.* Geopark kak platforma effektivnogo vzaimodeystviya obshchestva i prirody [Geopark as a platform for effective interaction between society and nature] // *Nauka i turizm: strategii vzaimodeystviya* [Science and Tourism: Interaction Strategies]. 2015. Is. 4(2). P. 5–9. (In Russian).
- Krainov S.R., Ryzhenko B.N., Shvets V.M.* Geokhimiya podzemnykh vod. Teoreticheskie, prikladnye i ekologicheskie aspekty [Groundwater Geochemistry: Theoretical, Applied, and Environmental Aspects]. M.: TsentrLitNefteGaz Publ., 2012. 672 p. (In Russian).
- Ogil'vi A.N.* K voprosu o metodike izucheniya mineral'nykh istochnikov [To the question of the methodology for studying mineral springs] // *Trudy Bal'neol. in-ta Kavk. miner. vod*. 1925. Vol. 2. P. 3–7. (In Russian).
- Popov V.G., Abdrakhmanov R.F.* Ionoobmennaya kontseptsiya v geneticheskoi gidrogeokhimiye [The Ion Exchange Concept in Genetic Aqueous Geochemistry]. Ufa: Gilem Publ., 2013. 356 p. (In Russian).
- Posokhov E.V.* Obshchaya gidrogeokhimiya [General Hydrogeochemistry]. L.: Nedra, 1975. 208 p. (In Russian).
- Vakhrushev G.V.* Mineral'nye vody i gryazi Bashkirii [Mineral waters and mud of Bashkiria]. Ufa: Bashknigoizdat Publ., 1961. 156 p. (In Russian).

#### *Сведения об авторах:*

**Абдрахманов Рафил Фазылович**, доктор геол.-мин. наук, профессор, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: hydro@ufaras.ru

**Дурнаева Вера Николаевна**, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: hydro@ufaras.ru

**Полева Александра Олеговна**, кандидат биологических наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: hydro@ufaras.ru

#### *About the authors:*

**Abdrakhmanov Rafil Fazilovich**, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: hydro@ufaras.ru

**Durnaeva Vera Nikolaevna**, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: hydro@ufaras.ru

**Poleva Aleksandra Olegovna**, candidate of biological sciences Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: hydro@ufaras.ru