



ISSN 0034-026X

# РАЗВЕДКА И ОХРАНА НЕДР

ОСНОВАН В 1931 ГОДУ



1934  
120 лет ВИМС

1 — 2024  
<http://rion-journal.com>



На ВДНХ прошел Форум национальных достижений: Экология, в рамках которой состоялась панельная дискуссия «Геология. Возрождение легенды».

Глава Роснедр Евгений Игнатьевич Петров начал панельную дискуссию с демонстрации общих показателей по федеральному проекту «Геология. Возрождение легенды» на период 2022–2024 гг.

Проект реализуется практически на всей территории Российской Федерации. В нем задействованы 23 объекта геологоразведочных работ, включая 8 на углеводородное сырье и 15 на твердые полезные ископаемые.

Евгений Петров подчеркнул, что Федеральный проект «Геология. Возрождение легенды» направлен на расширение минерально-сырьевой базы страны и развитие экономики:

- В 2023 г. по объекту КМК (cobальт-марганцевые корки) проведены и завершены морские работы.
- По объекту ГПС (глубоководные полиметаллические сульфиды) продолжены морские работы, которые планируется завершить в 2024 г.
- По объекту ЖМК (железомарганцевые конкреции) начаты морские работы, которые планируется продолжить и завершить в 2024 г.
- Для ускоренного развития минерально-сырьевой базы Дальневосточного федерального округа и Сибири подготовлены Программы геологического изучения регионов.

О текущем статусе Федерального проекта «Геология. Возрождение легенды», по состоянию на 01.01.2024 г., рассказали подведомственные организации Роснедр, а именно:

По объектам УВС – **ВНИГНИ**.

По объектам ТПИ – **ВИМС**.

По объектам подземных вод – **Гидроспецгеология**.

Работы на Антарктиде – **ВНИИОкеангеология**.

В дискуссии принял участие генеральный директор ФГБУ «ВИМС» Олег Владимирович Казанов с докладом «Текущий статус объектов ТПИ».

Советник главы Роснедр, руководитель Ведомственного проектного офиса Алексей Грибанов представил Ведомственную проектную систему управления — дашборд «Мониторинг работ Роснедр» по управлению и мониторингу хода исполнения государственных контрактов и заданий в рамках ФП.

Также об объектах, расположенных на территории Республики Саха (Якутия), подробнее рассказали представители Сахагеоинформ.

Модератором сессии выступила Вице-Президент НОУ «Институт «ПравоТЭК» Наталья Толстых.

Роснедра желает всем продуктивной работы.





# РАЗВЕДКА И ОХРАНА НЕДР

№ 1 ♦ январь – февраль ♦ 2024

Основан в июле 1931 года

Научно-технический журнал  
Выходит 6 раз в год

Учредители:  
Министерство природных  
ресурсов и экологии РФ,  
Российское геологическое  
общество

Главный редактор Е.И. Петров

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Е.М. Аксенов, Д.Б. Аракчеев,  
П.С. Бабаянц, М.А. Богдасаров,  
А.А. Верчеба, С.В. Гудков, М.У. Исоков,  
А.Ф. Карпузов, С.Н. Кащубин,  
А.А. Лаврусевич, М.И. Логвинов,  
Г.А. Машковцев (зам. гл. редактора),  
Н.А. Мац, Н.В. Милененко,  
А.В. Молчанов, И.В. Пеков,  
В.А. Петров, В.Л. Петров,  
И.Г. Печенкин (зам. гл. редактора),  
А.А. Рогожин, И.Г. Спиридовонов,  
Н.В. Соловьев, С.И. Трушин,  
Б.С. Узженов, Е.Г. Фаррахов,  
А.И. Черных

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

Старомонетный пер., 31,  
Москва, 119017 Россия  
тел.: (495) 950-30-25  
Рук. редакционной группы  
Тигунова М.И.  
Науч. редактор Лявданская Н.К.  
Редактор-консультант Маркова С.Б.  
Отв. за подпись Василева Е.О.  
vasileva@vims-geo.ru  
тел.: (495) 950-31-80  
Верстка Полищук Н.В.  
E-mail: rion@vims-geo.ru,  
rion60@mail.ru  
<http://rion-journal.com>

## СОДЕРЖАНИЕ

### МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ КОМПЛЕКС

Казанов О.В. Сценарии сырьевой обеспеченности и их следствия для планирования геологоразведочных работ 3

### ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Шумилин М.В. Урановые месторождения «вулканического» и «гранитного» типов, как связанные явления и перспективы прироста запасов урана на некоторых месторождениях российского Забайкалья с позиций этой концепции 13

Кириллов В.Е., Осипов А.Л., Коновалова Н.С., Кожемяко Н.В. Золотоносные конгломераты Немуйского района (Хабаровский край) 20

Соколов С.В., Амантов В.А., Макарова Ю.В. Минерагенический потенциал Русской платформы и методы оценки золото- и платиноносных площадей 34

Умматов Н.Ф. Геодинамическая обстановка формирования месторождения золота Даугызтау (Республика Узбекистан) 38

Гладышев А.В., Соловов И.Н. Изменчивость коэффициента радиоактивного равновесия в урановых рудах месторождения «Вершинное» Хиагдинского рудного поля (Республика Бурятия) 44

Белкин В.В. Об источнике платины в солях Верхнекамского калийного месторождения 54

### ТЕХНОЛОГИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ

Читалин А.Ф. Структурный анализ и тектонофизическое моделирование при поисках скрытого оруденения 58

Нуртаев Б.С., Эшмуродов А.П. Геологическая позиция и структура аномальных геофизических полей, связанных с хромитоносными ультрабазит-базитовыми комплексами (Центральные Кызылкумы, Республика Узбекистан) 68

Токарев И.В., Исаков В.А., Исакова Т.Н. Использование изотопных методов для оценки условий формирования ресурсов и запасов подземных вод 74

### ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Авдонин Г.И., Салтыков А.С., Прозорова М.В., Грязнов В.М., Назина Т.Н., Бабич Т.Л. Особенности формирования глициновых продуктивных растворов при выщелачивании урановых руд 83

### РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ОХРАНА НЕДР

Егоров Я.А., Чухлебов А.Н., Бусыгина Е.Н. Оптимизация наблюдательной сети за состоянием недр в мерзлотно-гидрогеологических условиях (на примере Билибинской АЭС) 90

### ИСТОРИОГРАФИЯ

Руднев В.В., Печенкин И.Г. Сотрудники ВИМСа – первооткрыватели месторождений цветных и благородных металлов 96

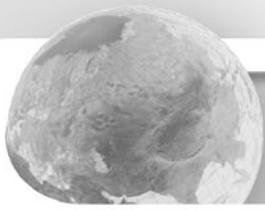
Юсипов А.А., Абрамов Д.В., Лисицин Д.В. Музею «Самоцветы» 50 лет 105

### ХРОНИКА

#### Поздравления

К 80-летнему юбилею Григория Анатольевича Машковцева 112

К 80-летнему юбилею Петра Ивановича Кушнарева 116



# PROSPECT & PROTECTION OF MINERAL RESOURCES

## ontents

### MINERAL RESOURCE COMPLEX

**Kazanov O.V.** Scenarios of raw materials supply and their implications for planning geological exploration works 3

### GEOLOGY, SEARCH AND EXPLORATION OF DEPOSITS

**Shumilin M.V.** Uranium deposits of «volcanic» and «granite» types, as related phenomena and prospects for growth of uranium reserves in some deposits of the Russian Zabaikalye from the position of this concept 13

**Kirillov V.E., Osipov A.L., Konovalova N.S., Kozhemyako N.V.** Gold-bearing conglomerates of the Nemuytsky district (Khabarovsk region) 20

**Sokolov S.V., Amantov V.A., Makarova Yu.V.** On the metallogenetic potential of the Russian Platform and assessment methods of potentially significant ore-bearing areas 34

**Ummatov N.F.** Geodynamic setting of the formation of the Daugyttau gold deposit (The Republic of Uzbekistan) 38

**Gladyshev A.V., Solodov I.N.** Variability of the radioactive equilibrium coefficient in uranium ores of the «Vershinnoye» uranium deposit of the Khiagda ore field (Republic of Buryatia) 44

**Belkin V.V.** About the source of platinum in the salts of the Verkhnekamsk potash deposit 54

### GEOLOGICAL EXPLORATION TECHNOLOGIES

**Chitalin A.F.** Structural analysis and tectonophysical modeling when searching for hidden mineralization 58

**Nurtaev B.S., Eshmurodov A.P.** Geological position and structure of anomalous geophysical fields associated with chrome-bearing ultramafic-mafic complexes (Central Kyzylkum, Republic of Uzbekistan) 68

**Tokarev I.V., Isakov V.A., Isakova T.N.** Use of isotope methods for estimating resources and pastures of underground water deposits 74

### TECHNOLOGIES FOR PROCESSING MINERAL RAW MATERIALS

**Avdonin G.I., Saltykov A.S., Prozorova M.V., Gryaznov V.M., Nazina T.N., Babich T.L.** Features of formation of glycine productive solutions during leaching of uranium ores 83

### DEVELOPMENT OF DEPOSITS AND PROTECTION OF SUBSOIL

**Egorov Ya.A., Chuklebov A.N., Busygina E.N.** Optimization of the monitoring network for subsurface conditions under permafrost and hydrogeological conditions (using the example of Bilibin of a nuclear power plant) 90

### HISTORIOGRAPHY

**Rudnev V.V., Pechenkin I.G.** VIMS employees are the discoverers of deposits of non-ferrous and precious metals 96

**Yusipov A.A., Abramov D.V., Lisitsin D.V.** 50 years anniversary of «Museum Samotsvety» 105



Муясынская площадь  
(Республика Бурятия)  
© Фотограф Прохоров Д.А.

**Токарев И.В.<sup>1</sup>, Исаков В.А.<sup>2</sup>, Исакова Т.Н.<sup>2</sup>**  
(1 – Научный парк Санкт-Петербургского государственного университета,  
2 – Филиал «Гидрологическая экспедиция 29 района» ФГБУ «Гидроспецгеология»)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИЗОТОПНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ РЕСУРСОВ И ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

В ходе съемки листа Q-42 выполнено изотопное опробование подземных и поверхностных вод для оценки условий формирования ресурсов и запасов подземных вод зоны активного водообмена. Подземные воды верхнего этажа имеют инфильтрационное происхождение, запасы и ресурсы водоносных горизонтов формируются напрямую или с промежуточным резервуаром в виде подземных льдов. В настоящее время таяние пластовых льдов значительного вклада в баланс подземных вод не вносит. Во многих случаях воды инфильтрационного происхождения, поступившие в подземную гидросферу на водоразделах, подвергаются воздействию испарения, что отчетливо видно в изменении изотопного состава воды за счет неравновесного фракционирования. Суммарные потери воды на испарение можно оценить величиной до 20–25 %. Потери воды на испарение для водозаборов инфильтрационного типа малы и могут не приниматься во внимание. В северной части листа Q-42 основные запасы и ресурсы подземных вод содержатся в подрусловых и подозерных таликах. Генетическая связь подземных вод, эксплуатируемых водозаборами, с таликом для долины р. Обь устанавливается по изотопным и химическим данным достоверно. Для южной части листа, где мерзлота теряет сплошность, основные запасы и ресурсы подземных вод следует отнести к межмерзлотным водоносным горизонтам. **Ключевые слова:** ресурсы и запасы подземных вод, дейтерий, кислород-18, донный лед.

Tokarev I.V.<sup>1</sup>, Isakov V.A.<sup>2</sup>, Isakova T.N.<sup>2</sup>  
(1 – Science Park of St. Petersburg State University,  
2 – (Branch «Hydrogeological Expedition of District 29» of FSBI «Hydrospetzgeologiya»)

### USE OF ISOTOPE METHODS FOR ESTIMATING RESOURCES AND PASTURES OF UNDERGROUND WATER DEPOSITS

*Mapping survey of sheet Q-42 included isotope sampling to assess the formation conditions of the resources and reserves of groundwater in the zone of active water exchange. Groundwater of the upper zone has the modern recharge origin; its reserves and resources are formed directly from meteoric water or with an intermediate reservoir in the form of underground ice. Currently, melting of the formation ice does not make a significant contribution to the groundwater balance. In many cases, the recharge water that penetrates into aquifers at watersheds are partially evaporated, which is clearly visible in the change in the isotopic composition of water due to disequilibrium fractionation. The total loss of water due to evaporation can be estimated at up to 20–25%. Water losses due to evaporation for infiltration-type water intakes are small and may not be taken into account. In the northern part of the sheet Q-42, the main reserves and resources of groundwater are contained in sub-channel and sub-lake taliks. Connection of groundwater, which exploited by water intakes, with talik for the Ob River valley is reliably established based on isotope and chemical data. For the southern part of the sheet, where the permafrost loses continuity, the main reserves and resources of groundwater should be attributed to inter-permafrost aquifers. **Keywords:** groundwater resources and reserves, deuterium, oxygen-18, evaporation, ground ice.*

#### Введение

Данные об изотопном составе воды — содержаниях тяжелых стабильных изотопов водорода (дейтерий —  $^2\text{H}$ ) и кислорода (кислород-18 —  $^{18}\text{O}$ ) широко используются для уточнения условий формирования запасов и ресурсов подземных вод. Изотопный состав выражается в относительных единицах:

$$\delta = \{(\text{R}_{\text{ОБР}}/\text{R}_{\text{СТАНД}}) - 1\} \times 1000 \text{ ‰},$$

где  $\text{R}_{\text{ОБР}}/\text{R}_{\text{СТАНД}}$  — это отношения  $^2\text{H}/^1\text{H}$  или  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  в образце и стандарте соответственно. В качестве стандарта принят состав воды океана, поскольку это самый большой и хорошо перемешанный водный резервуар.

Изотопный состав воды в океане  $\delta^2\text{H} = 0 \text{ ‰}$  и  $\delta^{18}\text{O} = 0 \text{ ‰}$ , а на континентах смещается в отрицатель-

ную сторону вследствие равновесного фракционирования (обеднения тяжелыми изотопами). Интерпретация данных об изотопном составе воды выполняется на базе дейтерий–кислородной диаграммы ( $\delta^2\text{H} \div \delta^{18}\text{O}$ ), на которой для всех видов воды (атмосферных осадков, поверхностных и подземных вод) характерно линейное распределение точек, названное *глобальной линией метеорных вод* (ГЛМВ) и описываемое уравнением вида [13]:

$$\delta^2\text{H} = 8 \times \delta^{18}\text{O} + 10 \text{ ‰}.$$

Региональные особенности орогидрографии территорий, их различная удаленность от океана, а также годовой размах вариаций температур и влажности воздуха приводят к тому, что в конкретной местности коэффициенты уравнения, связывающего содержания дейтерия

и кислорода-18 в осадках, отличаются от ГЛМВ. Обычно угловой коэффициент варьирует в пределах от 7,2 до 8,1; в этом случае зависимость называется *локальной линией метеорных вод* (ЛЛМВ).

Для практического применения данных об изотопном составе осадков необходимо найти (1) взвешенный среднегодовой состав атмосферных осадков, (2) взвешенный состав осадков в холодный и теплый период года. Под теплым периодом года понимают время, в течение которого среднесуточная температура превышает +5 °С, когда на водный баланс существенное влияние оказывает эвапотранспирация. Взвешенный состав осадков рассчитывается по формуле:

$$\delta_{\text{взв.среднегодов}} = \Sigma(\delta_i \times V_i) / \Sigma(V_i),$$

где  $\delta_i$  и  $V_i$  – изотопный состав водорода или кислорода в индивидуальном выпадении или за отдельный интервал наблюдений (в метеорологии, как правило, за декаду – 10 дней);  $\Sigma(V_i)$  – сумма выпадений за цикл наблюдений (как правило, за год).

В гумидных районах Российской Федерации, где мерзлота отсутствует или представлена прерывистым, или островным видами, основное питание подземные воды получают в период весеннего половодья. Поэтому изотопный состав инфильтрационного питания оказывается по абсолютной величине легче, чем взвешенные среднегодовые осадки. В районах распространения сплошной мерзлоты, где зона активного водообмена представлена только сезонно-тальным слоем (СТС), в период весеннего половодья снеготалая вода стекает в русла водотоков, пополняя запасы воды в таликах, так как почва в это время еще остается в промороженном состоянии. Поэтому влага в СТС обычно оказывается изотопически более тяжелой, чем взвешенные среднегодовые осадки.

Испарение, предшествующее инфильтрации воды в подземную гидросферу, изменяет ее изотопный состав вследствие *неравновесного изотопного фракционирования*. Угловые коэффициенты уравнений, описывающих состав остаточной воды подвергшейся испарению, варьируют в широких пределах, в среднем оказываясь близкими к 5. Признаком испарения инфильтрационной влаги является смещение точек вправо-вверх на дейтерий и кислород-18 относительно ЛЛМВ. Как правило, изотопный состав инфильтрационных вод «замораживается» в составе подземных вод зоны полного насыщения.

**Оценка изотопного состава атмосферных осадков в пределах листа Q-42 (Салехард).** Цепочка физических процессов, определяющих формирование запасов и ресурсов подземных вод для площади листа Q-42 (Салехард, масштаб 1 : 200 000), схематично отражена на рис. 1. Откуда видно, что для интерпретации изотопных данных необходимо оценить «входную функцию» – изотопный состав атмосферных осадков.

В базе данных Global Net of Isotope in Precipitations (GNIP), поддерживаемой МАГАТЭ (онлайн инструмент WISER, <https://websso.iaea.org/>, дата обращения 20.02.2023),

имеется ряд наблюдений для станции «Салехард», охватывающий два временных промежутка – 1973–1975 гг. и 1999–2000 гг. Соответствующие ЛЛМВ имеют вид:

$$\delta^2\text{H} = 8,0 \times \delta^{18}\text{O} + 3,9 \text{ ‰} \text{ для периода 1973–1975 гг.,}$$

$$\delta^2\text{H} = 7,7 \times \delta^{18}\text{O} - 2,1 \text{ ‰} \text{ для периода 1999–2000 гг.}$$

Изменение коэффициентов уравнений отражает утаяжение во времени взвешенного среднегодового изотопного состава осадков вслед за потеплением климата. Для расчета осредненной ЛЛМВ для периода в 50 лет примем следующее предположение: наблюдения для периода 1973–1975 гг. будут взяты с весом 1, а для периода 1999–2000 гг. – с весом 2. Тогда уравнение ЛЛМВ примет следующий вид:

$$\delta^2\text{H} = 7,8 \times \delta^{18}\text{O} - 0,1 \text{ ‰.}$$

По данным опробования осадков за 3 месяца холодного периода года в г. Надым ЛЛМВ имеет уравнение  $\delta^2\text{H} = 7,9 \times \delta^{18}\text{O} + 2,4$  (0,98) [6].

С учетом испарения в теплый период года, когда атмосферные осадки полностью изымаются из водного баланса, по данным для станции «Салехард» могут быть приняты следующие значения взвешенного изотопного состава осадков:

- среднегодовое для периода 1973–1975 гг. –  $\delta^{18}\text{O} = -15,4 \text{ ‰}$  и  $\delta^2\text{H} = -121 \text{ ‰};$
- среднегодовое для периода 1999–2000 гг. –  $\delta^{18}\text{O} = -13,6 \text{ ‰}$  и  $\delta^2\text{H} = -107 \text{ ‰};$
- за холодный период года для периода 1999–2000 гг. –  $\delta^{18}\text{O} = -19,9 \text{ ‰}$  и  $\delta^2\text{H} = -152 \text{ ‰};$
- за теплый период года для периода 1999–2000 гг. –  $\delta^{18}\text{O} = -11,3 \text{ ‰}$  и  $\delta^2\text{H} = -87 \text{ ‰.}$



**Рис. 1. Цепочка процессов, схематически определяющая условия формирования запасов и ресурсов подземных вод в зоне развития многолетнемерзлых пород**

**Влияние таяния подземных льдов на изотопный состав стока р. Обь в районе г. Салехард.** На изотопный состав подземных вод в пределах листа Q-42 могут влиять тающие, вследствие глобального потепления, подземные льды [12]. Известно, что 80 % площади водосбора р. Обь свободно от мерзлоты, а остальные 20 % практически полностью относятся к листу Q-42 [10]. То есть, при уверенной идентификации наличия вклада тающих подземных льдов в речной сток, все изменения характеристик водного баланса следует отнести к территории съемки листа Q-42.

Увеличение вклада воды от талых подземных льдов в баланс подземных вод можно предположительно диагностировать по значительному росту зимнего меженного стока р. Обь в створе гидропоста «Салехард». Данные с сайта ArcticGro [<https://arcticgreatrivers.org/>, дата обращения 31.01.2023] позволяют рассчитать средний минимальный 30-суточный меженный сток р. Обь за время наблюдений с 1936 по 2020 г. Минимальный сток (при осреднении ряда бегущим десятилетним окном) увеличился с 2760 м<sup>3</sup>/с в 1936–1945 гг. до 4450 м<sup>3</sup>/с в 2011–2020 гг.

По данным сайта ArcticGro изотопный состав воды р. Обь в створе г. Салехард для периода 2003–2022 гг. (с перерывами) почти всегда изотопически легче взвешенных среднегодовых осадков для листа Q-42 (рис. 2), несмотря на то что основная площадь водосбора находится существенно южнее листа Q-42.

В период весеннего снеготалого половодья (расходы воды в реке  $Q > 23 \times 10^3$  м<sup>3</sup>/с) отмечаются наиболее легкие изотопные составы воды со средними значениями около  $\delta^{18}\text{O} = -16,5 \text{ ‰}$  и  $\delta^2\text{H} = -122,7 \text{ ‰}$ . По единичной пробе (без указания даты отбора пробы) вода р. Обь

Таблица 1

Изменение изотопного состава воды в р. Обь в гидрологическую фазу весеннего половодья в створе г. Барнаул в 2020 и 2021 гг. (период от окончания зимней и до начала летней межени [14])

	$\delta^{18}\text{O}, \text{‰}$	$\delta^2\text{H}, \text{‰}$
В среднем за период наблюдений	-15,2...-15,4	-115,9...-117,9
За зимнюю межень	-14,7...-15,0	-113,1...-115,0
В половодье	-15,7...-16,1	-119,5...-122,6

в начале весеннего половодья имеет изотопный состав  $\delta^{18}\text{O} = -17,6 \text{ ‰}$  и  $\delta^2\text{H} = -131,4 \text{ ‰}$  [5]. Из-за подъема уровня воды в реке в весенне половодье эта изотопически легкая вода должна идти на восполнение запасов подречевых таликов под р. Обь и притоков. В летнюю межень изотопный состав воды утяжеляется до средних величин  $\delta^{18}\text{O} = -14,0 \text{ ‰}$  и  $\delta^2\text{H} = -105,9 \text{ ‰}$ , что также заметно легче, чем осадки теплого периода года для листа Q-42 и, вероятно, указывает на частичную сработку запасов воды в таликах. После установления зимней межени в октябре (расходы воды в реке  $Q < 9 \times 10^3$  м<sup>3</sup>/с) имеет место дальнейшее устойчивое облегчение изотопного состава воды в р. Обь до средних величин  $\delta^{18}\text{O} = -15,0 \text{ ‰}$  и  $\delta^2\text{H} = -112,6 \text{ ‰}$ , что обусловлено основной сработкой запасов воды в талике.

Изменения изотопного состава воды в р. Обь в створе г. Салехард в годовом цикле полезно сравнить с аналогичными данными для ее верхнего течения в створе г. Барнаул [14]. Для всех гидрологических фаз изотопный состав воды в р. Обь в створе г. Салехард оказывается изотопически легче, чем в створе г. Барнаул (табл. 1), что указывает на вклад изотопически легких вод.

Сопоставление изотопных и химических данных, представленных на сайте ArcticGro, обнаруживает, что современное снеговое питание речного стока характеризуется минимальными концентрациями растворенных компонентов. Компонента с характерным для подречевого талика р. Обь изотопным составом воды  $\delta^{18}\text{O} = -15,0 \text{ ‰}$  и  $\delta^2\text{H} = -112,6 \text{ ‰}$  имеет наибольшие концентрации растворенных веществ в период зимней межени. Чрезвычайно легкие изотопные составы углерода и азота, а также большой дефицит радиоуглерода в этом компоненте указывают на значительный осредненный возраст воды в талике, который составляет не менее нескольких тысяч лет и, соответственно, на невысокий темп водообмена в нем.

Изотопный состав подземных льдов в пределах листа Q-42 был изучен в нескольких работах. Новообразованный лед булгунняхов и пинго, по-видимому, наиболее близок к взвешенным составам современных инфильтрационных вод, идущих на восполнение запасов грунтовых горизонтов. В работе [2] для водосбора р. Полуй найден изотопный состав новообразованных льдов  $\delta^{18}\text{O} \approx -15,6 \text{ ‰}$  и  $\delta^2\text{H} \approx -121 \text{ ‰}$  при уравнении линии аппроксимации  $\delta^2\text{H} = 3,6 \times \delta^{18}\text{O} - 70 \text{ ‰}$ . Конжеляционные и

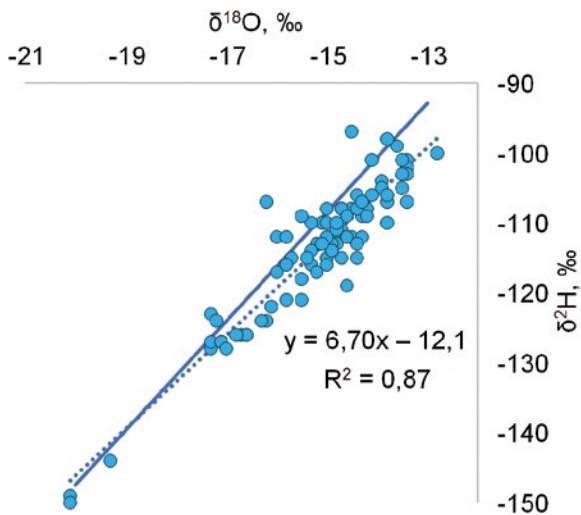


Рис. 2. Изотопный состав воды в р. Обь для периода 2003–2022 гг. (с перерывами) в точке наблюдения «г. Салехард»: сплошная прямая — ЛЛМВ для листа Q-42 по данным ГНIP МАГАТЭ  $\delta^2\text{H} = 7,8 \times \delta^{18}\text{O} - 0,1 \text{ ‰}$ ; пунктирная прямая — линия аппроксимации результатов наблюдений с сайта ArcticGro (уравнение на диаграмме)

сегрегационные льды современного инфильтрационного происхождения на юге п-ва Ямал около северной рамки листа Q-42 имеют средний состав около  $\delta^{18}\text{O} = -14,8\text{‰}$  и  $\delta^2\text{H} = -100\text{‰}$  [15]. Для сегрегационного современного льда в разрезе на р. Щучьей в [1] приводятся средние составы  $\delta^{18}\text{O} = -13,5\text{‰}$  и  $\delta^2\text{H} = -110\text{‰}$ , что наиболее близко к рассчитанному выше взвешенному среднегодовому составу современных осадков. Там же приводится уравнение линии аппроксимации для сегрегационного льда  $\delta^2\text{H} = 6,57 \times \delta^{18}\text{O} - 19,5$  ( $R^2 = 0,96$ ), практически совпадающее с уравнением аппроксимации для изотопного состава воды в р. Обь в районе Салехарда (рис. 2).

В растущем булгуняхе Песцове (восточная рамка листа Q-42) по данным [16] изотопный состав льда закономерно утяжеляется при приближении к поверхности. Для верхних слоев (интервал глубин 11,0–13,8 м) средние величины  $\delta^{18}\text{O} \approx -12,8\text{‰}$  и  $\delta^2\text{H} \approx -104\text{‰}$ , что несколько тяжелее, чем расчетная величина взвешенных среднегодовых осадков. Это означает, что в зоне развития сплошной мерзлоты в инфильтрационных водах примерно половину составляют летние осадки. Линия аппроксимации изотопных составов сегрегационного льда в этом булгуняхе имеет вид  $\delta^2\text{H} = 5,8 \times \delta^{18}\text{O} - 30\text{‰}$  при довольно значительном разбросе точек относительно тренда  $R^2 = 0,87$ . Точка пересечения ЛЛМВ и линии, аппроксимирующей экспериментальные точки, имеет изотопные координаты  $\delta^{18}\text{O} = -15,9\text{‰}$  и  $\delta^2\text{H} = -120\text{‰}$  близкие к расчетному взвешенному среднегодовому составу осадков.

Современные ледяные жилки, формирующиеся из талого снега, имеют наиболее легкий изотопный состав в среднем около  $\delta^{18}\text{O} = -19,2\text{‰}$  и  $\delta^2\text{H} = -136\text{‰}$  [15]. В районе р. Щучья — левого притока р. Обь — имеют изотопный состав кислорода от  $-18,2\text{‰}$  до  $-19,4\text{‰}$ , а для полигонально-жильных льдов в районе г. Салехард приводятся средние составы около  $\delta^{18}\text{O} = -18,5\text{‰}$  и  $\delta^2\text{H} = -141\text{‰}$  для льдов с возрастом около 6 тыс. лет и  $\delta^{18}\text{O} = -16,2\text{‰}$  и  $\delta^2\text{H} = -124\text{‰}$  для голоценовой жилы [1].

**Таблица 2**  
**Изотопный состав воды деятельного слоя вблизи пос. Зеленый Яр на глубинах 0,1–0,7 м**

№ пп	$\delta^{18}\text{O}$ , ‰	$\delta^2\text{H}$ , ‰	№ пп	$\delta^{18}\text{O}$ , ‰	$\delta^2\text{H}$ , ‰
1	-12,40	-95,5	12	-13,39	-97,4
2	-13,28	-96,8	13	-13,11	-97,6
3	-10,92	-100,7	14	-12,84	-95,3
4	-13,26	-101,5	15	-11,82	-90,3
5	-13,10	-97,4	16	-13,77	-101,4
6	-11,41	-86,2	17	-12,01	-93,4
7	-12,92	-97,6	18	-13,94	-101,6
8	-12,30	-94,1	19	-12,91	-99,7
9	-12,36	-95,5	20	-14,24	-103,8
10	-12,70	-92,5	21	-12,37	-96,0
11	-15,13	-110,1	Среднее	-12,87	-97,2

Обводненная часть деятельного слоя на глубинах 0,1–0,7 м была опробована ручным бурением вблизи пос. Зеленый Яр (район г. Салехард, координаты участка  $66^{\circ}17'$  с.ш. и  $67^{\circ}58'$  в.д., работы производились в августе-сентябре 2021 г., табл. 2).

Исходя из среднего изотопного состава поровой влаги  $\delta^{18}\text{O} = -12,87\text{‰}$  и  $\delta^2\text{H} = -97,2\text{‰}$ , наиболее вероятно, что увлажнение деятельного слоя на этом участке происходит преимущественно за счет летних осадков. Смещение точек вправо-вверх относительно ЛЛМВ и коэффициент наклона 5,5 линии, аппроксимирующей опытные точки для деятельного слоя, указывают на то, что инфильтрующаяся вода была частично испарена.

**Оценка влияния испарения на водный баланс в пределах листа Q-42.** Угловой коэффициент линии аппроксимации для воды в р. Обь в створе г. Салехард равен 6,7, а для подземных льдов варьирует от 3,6 до 6,8. Эти величины, а также большой разброс фигуративных точек относительно линий аппроксимации и их существенное отклонение вправо-вверх от ЛЛМВ на дейтерий-кислород-18 диаграмме указывает на значительное влияние испарения. По данным [14] для створа в г. Барнаул уравнение линии аппроксимации для речной воды имеет вид  $\delta^2\text{H} = 7,15 \times \delta^{18}\text{O} - 7,5\text{‰}$  ( $R^2 = 0,93$ ). Из уменьшения величины углового коэффициента при сравнении верхнего и нижнего течения р. Обь следует, что потери на испарение по мере продвижения с юга на север возрастают. Этот эффект, скорее всего, определяется широким распространением водно-болотных угодий в пределах площади съемки листа Q-42.

Данные по испарению с поверхности водоемов в северной части Западно-Сибирской равнины получены Государственным гидрологическим институтом в ходе работ 1983–1985 гг. на озере «Трофимовское» [4]. В рамках работ по листу Q-42 при отсутствии прямых наблюдений был произведен расчет месячных сумм испарения по материалам метеостанции в г. Салехард согласно работе [7]:

$$E_0 = 0,12n (e_0 - e_{200}) (1 + 0,72 u_{200}),$$

где:  $n$  — число суток в расчетном интервале времени;  $e_0$  — среднее давление насыщенного водяного пара, вычисленное по температуре поверхности воды в водоеме, гПа;  $e_{200}$  — среднее парциальное давление водяного пара в воздухе над водоемом на высоте 200 см, гПа;  $u_{200}$  — средняя скорость ветра над водоемом на высоте 200 см, м/с.

Уравнение связи вычисленных и наблюденных ранее значений испарения имеет вид (при  $R^2 = 0,95$ ):

$$E_0 = 0,84E_{\text{расч}}.$$

При расчете испарения наиболее сложен учет температуры поверхности воды в водоемах. Исследования температурного режима озер и внутриболотных водоемов в северной части Западно-Сибирской равнины показали наличие тесной связи (коэффициент корреляции  $r \approx 0,98$ )

температуры поверхности воды с температурой воздуха [4]. Высокая степень связности между этими параметрами объясняется быстрым прогреванием озер и внутриболотных водоемов, обусловленным их малыми глубинами, высокой цветностью воды и ветровым перемешиванием, что ведет к большой величине поглощения прямой и суммарной коротковолновой радиации. Соответственно, температуру поверхности воды можно рассчитывать по температуре воздуха:

$$t_{\text{воды}} = 1,06 \times t_{\text{возд}} + 1,35.$$

Месячные суммы испарения были рассчитаны для условного озера и внутриболотного водоема с характерной площадью 0,25 км<sup>2</sup>, средней глубиной 1 м и средней длиной разгона воздушного потока 300 м. За дату полного очищения акваторий ото льда принята средняя дата перехода среднесуточных температур воздуха через +5 °C, а за дату замерзания — средняя дата перехода среднесуточных температур через 0 °C. Результаты расчета представлены в табл. 3.

Графическое сравнение внутригодового хода осадков по данным метеостанции в г. Салехард с потерями влаги на испарение с водной поверхности и аблацией снежного покрова приведено на рис. 3. Из графиков на рисунке следует, что в июле и августе испарение удаляет до 80 % выпавших осадков (с учетом транспирации до 90–100 %, в зависимости от ландшафта), а за счет аблации в апреле и мае до 15–20 % влагозапасов в снеге. В сентябре, вследствие увядания растительности, значение транспирации в балансе резко уменьшается. В этот период, при наличии дождей, резко увеличивается сток в верхних звеньях

Таблица 3

Расчетное среднемесячное испарение с водной поверхности озер и внутриболотных водоемов за безледоставный период для листа Q-42, мм при использовании данных по метеостанции в г. Салехард

Начало ледостава	Конец ледостава	Безледоставный период, сут.	Испарение с водной поверхности, мм						
			VI	VII	VIII	IX	X	сумма	
03.10	27.06	97	4	47	50	29	2	132	

гидрографической сети. В мае из-за низкой активности растительности потерями атмосферных осадков на транспирацию можно пренебречь.

**Интерпретация данных по изотопному составу подземных вод в пределах листа Q-42.** Исходя из вышеприведенных оценок, при интерпретации данных для подземных вод в пределах листа Q-42 можно принять следующие изотопные составы:

- для поровых вод деятельного слоя на участках развития сплошной мерзлоты и преобладании летнего питания —  $\delta^{18}\text{O} \approx -12,8 \text{ ‰}$  и  $\delta^2\text{H} \approx -100 \text{ ‰}$ ;
- для подземных вод на участках распространения прерывистой и островной мерзлоты и смешанном питании водами весеннего снеготалого половодья и летними осадками —  $\delta^{18}\text{O} \approx -13,5 \text{ ‰}$  и  $\delta^2\text{H} \approx -110 \text{ ‰}$ ;
- для вод талика под р. Обь —  $\delta^{18}\text{O} \approx -15,0 \text{ ‰}$  и  $\delta^2\text{H} \approx -115 \text{ ‰}$ ;
- для случая преобладания инфильтрационного питания в период снеготалого половодья —  $\delta^{18}\text{O} \approx -17,4 \text{ ‰}$  и  $\delta^2\text{H} \approx -133 \text{ ‰}$ .

Изотопный состав проб подземных и поверхностных вод в пределах листа Q-42 представлен в табл. 4 и на рис. 4. Все пробы подразделяются на три группы:

- 1) водопункты, на изотопный состав которых практически не повлияло испарение, приводящее к неравновесному изотопному фракционированию;
- 2) водопункты, на изотопный состав которых в незначительной степени повлияло испарение;
- 3) водопункты, изотопный состав которых в значительной степени изменен за счет испарения.

В первую группу, для которой влияние испарения на изотопный состав пренебрежимо мало входят в основном скважины водозаборов и крупные источники подземных вод. В эту же группу входят малые реки, питание которых осуществляется преимущественно подземными водами, так как на моменты опробования они уже перешли в гидрологическую стадию летней межени.

Водозаборные сооружения по изотопному составу воды подразделяются на две группы (табл. 4):

1. Скважины, относящиеся к водозаборам г. Салехард и других населенных пунктов, расположенные на берегах р. Обь, имеют изотопный состав воды в среднем  $\delta^{18}\text{O} = -17.2 \pm 0.6 \text{ ‰}$  и  $\delta^2\text{H} = -126 \pm 5 \text{ ‰}$ . Изотопный состав воды, извлекаемой этими скважинами, несколько легче по изотопному составу, чем воды талика под р. Обь —  $\delta^{18}\text{O} = -15,0 \text{ ‰}$  и  $\delta^2\text{H} = -115 \text{ ‰}$ . Вероятнее всего, это облегчение связано с локальным более интен-

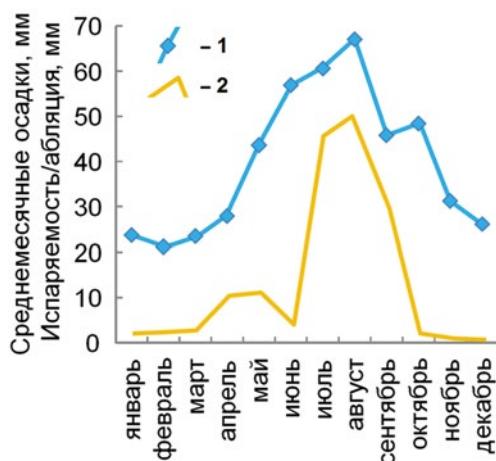


Рис. 3. Сравнение данных наблюдений за атмосферными осадками (1) с расчетной величиной испаряемости с водной поверхности и аблацией снега (2)

**Таблица 4****Изотопный состав подземных и поверхностных вод в пределах листа Q-42**

Дата	Описание	Геологическое подразделение	С.Ш.	В.Д.	$\delta^{18}\text{O}$ , ‰	$\delta^2\text{H}$ , ‰
<b>Пробы, характеризующие воды с наименьшим влиянием испарения</b>						
27.07.21	Водозабор скв. 1-э, мыс Корчаги	QIIIkz	66,624306	66,614167	-17,8	-131
27.07.21	Водозабор скв. 2-э, мыс Корчаги	QIIIkz	66,624019	66,614944	-17,5	-129
27.07.21	Водозабор скв. 21-рэ	QI-lijam	66,616722	66,623500	-17,3	-126
27.07.21	Водозабор скв. 3-э	QIIIkz	66,615889	66,623750	-17,1	-126
27.07.21	Водозабор скв. 35-рэ	QIIIkz	69,612306	66,622639	-16,6	-123
29.07.21	Водозабор, скв. 31-рэ, г. Салехард	QIII	66,537972	66,645639	-16,6	-123
21.07.21	Родник восходящий		66,742306	66,016472	-15,6	-114
28.07.21	Ручей		66,557944	66,591806	-15,0	-110
22.07.21	р. Тоупугол		66,771417	66,424250	-14,4	-106
31.07.21	Родник нисходящий	QIII-QIV	66,193083	68,678056	-12,9	-95
<b>Пробы, характеризующие воды с незначительным влиянием испарения</b>						
27.07.21	Водозабор скв. 48-рэ, г. Салехард	QIIIkz	66,538111	66,647056	-16,4	-123
27.07.21	Водозабор скв. 46-рэ, г. Салехард, Полуйское МППВ (Городской водозабор «2-й подъем»)	QIIIkz	66,537722	66,647222	-16,1	-121
21.07.21	Родник на правом берегу р. Щучья		67,488167	67,433833	-15,9	-118
27.07.21	Вдз. скв. 32-рэ, мыс Корчаги, Салехардское МППВ (Тыловой участок)	QIIIkz	66,624306	66,618083	-15,6	-117
21.07.21	Термокарстовое озеро без названия		67,442528	67,403667	-15,0	-114
<b>Пробы, характеризующие воды, испаренные в значительной степени</b>						
20.07.21	Озеро в карьере без названия		66,816000	66,511556	-13,1	-105
30.07.21	Высачивание на склоне под термокарстовым озером		66,500028	67,094139	-12,5	-100
25.07.21	Озеро без названия		66,644194	66,143378	-11,8	-97
20.07.21	Оз. Харонто		67,635139	67,571889	-11,5	-94
31.07.21	Высачивание		66,438778	67,703083	-11,2	-91
21.07.21	р. Ханвей		66,720667	66,165333	-10,7	-88
<b>Пробы, характеризующие воды, имеющие признаки конденсации</b>						
29.07.21	Восточная окраина пос. Горнокнязевск, ручей без названия, левый приток Оби		66,707351	66,864500	-15,8	-112
31.07.21	р. Вындыда		66,713333	66,269361	-15,3	-109
22.07.21	р. Мал.Ханвей		66,753806	66,299361	-15,0	-106
21.07.21	Высачивание р. Халатальбей		67,332194	67,166694	-14,4	-102
18.07.22	Озеро около пинго, Южный Ямал		66,470263	67,514228°	-14,0	-105
19.07.22	Озеро Лебяжье, Южный Ямал		66,533584	66,654556°	-11,7	-98
19.07.22	Ямал-101		66,530859	66,660624°	-11,6	-104
19.07.22	Ямал-102		66,530859	66,660624°	-13,5	-108
20.07.22	Ямал-103		66,710648	66,349038°	-11,9	-100
20.07.22	Ямал-104		66,711574	66,344275°	-11,1	-95
21.07.22	Ледник «Романтиков», восточный склон Полярного Урала		66,899717	65,435800°	-15,9	-114
22.07.22	Ямал-105		66,654697	66,418886°	-14,4	-111
22.07.22	Ямал-106		66,527509	66,585286°	-11,7	-102

Дата	Описание	Геологическое подразделение	С.Ш.	В.Д.	$\delta^{18}\text{O}$ , ‰	$\delta^2\text{H}$ , ‰
13.08.20	Верховья р. Полуй				-11,8	-87
13.08.20	Верховья р. Полуй				-12,8	-96
13.08.20	Верховья р. Полуй				-12,7	-95
13.08.20	Верховья р. Полуй				-10,9	-86
13.08.20	Верховья р. Полуй				-12,5	-94

сивным питанием снеготальными водами в весеннееводье.

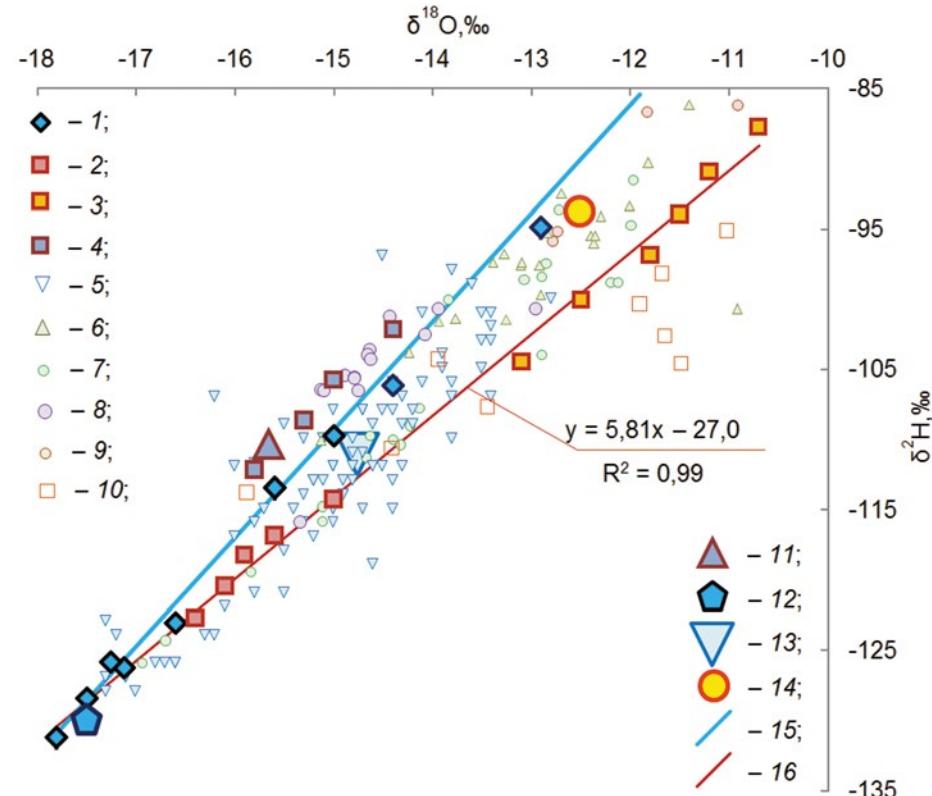
2. Часть скважин, также относящиеся к водозаборам г. Салехард и других населенных пунктов, расположенные на берегах р. Обь, имеют изотопный состав воды в среднем  $\delta^{18}\text{O} = -16,0 \pm 0,4 \text{ ‰}$  и  $\delta^2\text{H} = -120 \pm 3 \text{ ‰}$ , отражающий заметное влияние испарения. Аппроксимация изотопного состава вод из второй подгруппы скважин прямой линией дает их начальный состав (в виде точки пересечения линии аппроксимации с ЛЛМВ)  $\delta^{18}\text{O} \approx -17,5 \text{ ‰}$  и  $\delta^2\text{H} \approx -129 \text{ ‰}$ , который мало отличается для среднего из первой подгруппы скважин. Таким образом, источник питания и восполнения запасов воды в обоих случаях идентичен. Причины заметного влияния испарения на инфильтрационные воды в данный момент

определить не представляется возможным, так как неизвестны конструкции скважин.

Отдельно следует выделить точку опробования «Родник на правом берегу р. Щучья» (табл. 4). Вода родника имеет изотопный состав воды  $\delta^{18}\text{O} = -15,9 \text{ ‰}$  и  $\delta^2\text{H} = -118,3 \text{ ‰}$ , который полезно сравнить с ранее полученными данными, поскольку этот участок оказался наиболее полно охарактеризован экспериментальными работами. Для разреза на р. Щучья установлено [16], что:

- современная ледяная жила имеет состав  $\delta^{18}\text{O} = -16,21 \text{ ‰}$  и  $\delta^2\text{H} = -124,1 \text{ ‰}$ ;
- для верхних слоев сегрегационного льда в растущем булгуняхе (интервал глубин 11,0–13,8 м) характерны средние величины  $\delta^{18}\text{O} \approx -12,8 \text{ ‰}$  и  $\delta^2\text{H} \approx -104 \text{ ‰}$ .

**Рис. 4. Сравнение изотопного состава воды в пределах листа Q-42 (Салехард) с изотопным составом атмосферных осадков:** 1 – водопункты, на изотопный состав которых практически не повлияло испарение; 2 – водопункты, на изотопный состав воды в которых в незначительной степени повлияло испарение; 3 – водопункты, изотопный состав которых в значительной степени изменен за счет испарения; 4 – водопункты, на изотопный состав которых, возможно, повлияла конденсация воды из воздуха; 5 – изотопный состав воды в р. Обь по данным сайта ArcticGRO за 2003–2022 гг. (с пропусками); 6 – изотопный состав поровых вод деятельного слоя в конце августа и начале сентября 2021 г.; 7 – поверхностные воды п-ова Ямал около северного обреза листа Q-42 в сентябре 2022 г.; 8 – поверхностные воды в районе порта Сабетта в сентябре 2022 г.; 9 – поверхностные воды в верховьях р. Полуй в августе 2020 г.; 10 – поверхностные воды в июле 2022 г. (материалы сотрудников Санкт-Петербургского государственного университета); 11 – средний изотопный состав воды, снега и льда в районе ледника «Романтиков» Полярный Урал [3]; 12 – изотопный состав воды в р. Обь в конце зимней межени 2016 г. [5]; 13 – средневзвешенный изотопный состав воды в р. Обь по данным сайта ArcticGRO; 14 – средневзвешенный изотопный состав осадков за теплый период года со среднесуточными температурами выше  $+5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (июнь–сентябрь); 15 – локальная линия метеорных вод (уравнение имеет вид  $\delta^2\text{H} = 7,8 \times \delta^{18}\text{O} + 0,1$ ); 16 – линия аппроксимации для точек, соответствующих объектам, на изотопный состав воды в которых значительно повлияли вторичные процессы (уравнение на диаграмме)



Питание подземных вод на этом участке также происходит преимущественно в весенне-снеготающее половодье, так как расчетная величина взвешенных среднегодовых осадков в г. Салехард  $\delta^{18}\text{O} \approx -13,6\text{ ‰}$  и  $\delta^2\text{H} \approx -107\text{ ‰}$ .

Часть опробованных водных объектов по изотопному составу воды (табл. 4) мало отклоняется от ЛЛМВ и одновременно по изотопному составу существенно тяжелее воды из скважин. Например, для нисходящего родника (QIII-QIV) найден состав  $\delta^{18}\text{O} \approx -12,9\text{ ‰}$  и  $\delta^2\text{H} \approx -94,9\text{ ‰}$ . Последнее указывает на существенную долю летних изотопически тяжелых осадков, вклад которых по уравнению смешения может быть оценен в диапазоне 40–60 %. Состав воды в этом роднике наиболее близок к летним осадкам, что предполагает достаточно малый размер его водосбора и, возможно, его исчезновение в зимний период. На это указывает изотопный состав воды восходящего родника  $\delta^{18}\text{O} \approx -15,6\text{ ‰}$  и  $\delta^2\text{H} \approx -113,5\text{ ‰}$ , который гораздо ближе к составу воды из водозаборных скважин.

Некоторые из водных объектов в данной группе (р. Мал. Ханвей, р. Вынянда, высачивание и ручей без названия — табл. 4) отклоняются влево от ЛЛМВ, что может быть обусловлено конденсацией паров воды из воздуха на их водосборе вследствие обнажения мерзлых пород. Косвенно это подтверждается изотопным составом воды, снега и льда в районе ледника «Романтиков» на восточном склоне Полярного Урала, входящем в площадь листа Q-42, и имеющих средний состав  $\delta^{18}\text{O} = -15,87\text{ ‰}$  и  $\delta^2\text{H} = -114,0\text{ ‰}$  [3], так как для ледников конденсация — это обычный механизм накопления массы.

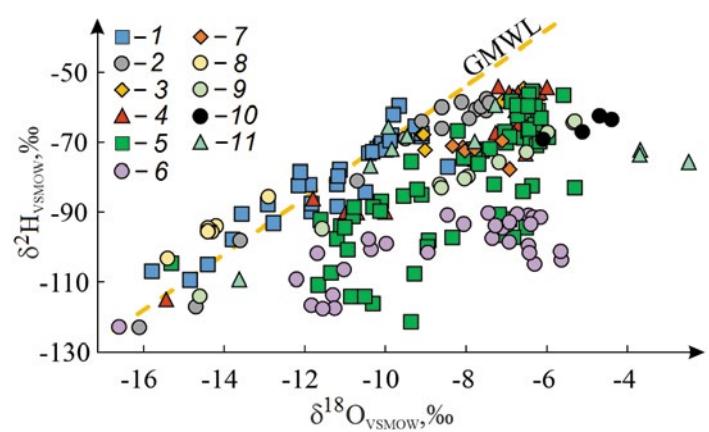
Несколько опробованных водопунктов (табл. 4) имеют изотопные составы воды, существенно измененные под влиянием неравновесного изотопного фракционирования, вызванного испарением. По большей части это озера природного (термокарстовые озера) или искусственного (озеро в затопленном карьере) происхождения или мелкие высачивания грунтовых вод из деятельного слоя. В одном случае (р. Ханвей в табл. 4) — это небольшой водоток с площадью водосбора около 4000 км<sup>2</sup>. Причиной значительных потерь воды на испарение для этой реки является высокая (ориентировочно около 28–35 %) заозеренность водосбора с существенным развитием каменистых пустошей и разреженным растительным покровом. Для указанных объектов оценочные потери воды на испарение достигают 35–40 % если использовать методику [11].

**Изотопный состав вод глубоких горизонтов.** Непосредственно для листа Q-42 данные об изотопном составе вод глубоких горизонтов отсутствуют. Однако некоторые сведения (далее в подразделе использованы данные из работ [8, 9]) имеются для подземных вод нефтегазоконденсатных месторождений вблизи восточной (Надым-Тазовское междуречье) и южной (бассейн р. Северная Сосьва и г. Ханты-Мансийск) рамки листа Q-42 (рис. 5).

По химическому составу рассолы и соленые воды относятся в основном к  $\text{Cl}-(\text{HCO}_3)-\text{Na}-(\text{Ca})$ , а соло-

новатые — к  $\text{HCO}_3-\text{Cl}-\text{Na}-(\text{Ca})$  типу по классификации С.А. Щукарева (в скобках приведены миорные компоненты). Как правило, воды имеют нейтральную или слабощелочную реакцию  $\text{pH} = 6,1-8,6$  с восстановительной геохимической средой  $\text{Eh} = -360...-150\text{ мВ}$ . Воды с общей минерализацией менее 400 мг/дм<sup>3</sup> отнесены авторами к конденсационным, а воды с минерализацией более 8000 мг/дм<sup>3</sup> — к литогенным, остальные воды считаются смешанными. Некоторые воды, несмотря на повышенную соленость, наименее изотопически метаморфизованы. По изотопному составу они наиболее близки к водам, возникающим при опреснении внутренних морей за счет речного стока. На это же указывают величины отношений  $r\text{Na}/r\text{Cl} = 0,80-0,87$  и  $r\text{Cl}/r\text{Br} = 298-368$  у проб воды с максимальной соленостью, что наиболее близко к величинам, характерным для морей 0,85 и 293, соответственно. Возможно, упомянутые соотношения указывают на процесс трансгрессии моря в период осадконакопления нефтематеринских пород.

Фактически воды меловых (сеноман и альб) отложений лежат вблизи ГЛМВ, а все остальные представляют собой малоизмененные воды инфильтрационного происхождения с невысокой соленостью. Воды более глубокозалегающих меловых горизонтов (в основном валанжин и берриас) оказываются заметно фракционированными и, вероятнее всего, испытывают «кислородный сдвиг» вследствие обмена с вмещающими породами при повышенной температуре (максимальные пластовые температуры достигают 72–87 °C). Часть точек, характеризующих воды с пониженной минерализацией и смешением точек влево от ГЛМВ, обладают наиболее легким изотопным составом, что характерно для водяного пара, поэтому идентифицируются как конденсационные.



**Рис. 5. Изотопный состав пластовых вод нефте-газовых месторождений севера Западной Сибири во вмещающих отложениях различного возраста [8, 9]: 1 — сеноман (K,cm); 2 — альб (K,al); 3 — апт (K,a); 4 — готерив (K,g); 5 — валанжин (K,v); 6 — валанжин-берриас (K,b и K,v); 7 — оксфорд (J,o); 8 — келловей (J,k); 9 — бат (J,bt); 10 — байос-аален (J,b и J,a); 11 — доюрские (Pz); GMWL — глобальная линия метеорных вод**

## Выводы

Резюмируя данные по результатам изотопного опробования подземных и поверхностных вод, можно сделать следующие заключения относительно условий формирования ресурсов и запасов подземных вод зоны активного водообмена в пределах листа Q-42.

1. Практически во всех случаях подземные воды имеют инфильтрационное происхождение, формируя запасы и ресурсы водоносных горизонтов напрямую или с промежуточным резервуаром в виде подземных льдов, которые потенциально могут дать вклад в водный баланс в процессе таяния. В настоящее время пластовые льды в пределах листа Q-42 значительного вклада в баланс подземных вод не вносят.

2. Во многих случаях воды инфильтрационного происхождения, поступившие в подземную гидросферу на водоизделах, были подвержены воздействию испарения, что отчетливо видно в изменениях изотопного состава воды за счет неравновесного фракционирования. Суммарные потери воды на испарение (от объема осадков, поступивших на земную поверхность) можно оценить величиной до 20–25 % (для поверхностных вод такие оценочные потери достигают 35 %). Последнее необходимо учитывать при воднобалансовых расчетах и интерпретации данных о химическом составе воды на объектах. Однако потери воды на испарение для водозаборов инфильтрационного типа оказываются минимальными и могут не приниматься во внимание.

3. В северной части листа Q-42 основные запасы и ресурсы подземных вод содержатся в подрусловых и подозерных таликах, так как мощность сезонно-талого слоя невелика. Генетическая связь подземных вод, эксплуатируемых водозаборами, с таликом для долины р. Обь устанавливается по изотопным и химическим данным достоверно. Для южной части листа, где мерзлота теряет сплошность, основные запасы и ресурсы подземных вод следует отнести к межмерзлотным водоносным горизонтам.

Соотношение вкладов отдельных видов подземных льдов в баланс подземных вод в настоящее время установить сложно, однако можно использовать следующие соображения:

— современные и голоценовые конжеляционные и сегрегационные льды лишь временно магазинируют часть инфильтрационного питания и на отрезках времени порядка нескольких десятков лет не оказывают принципиального воздействия на увеличение или уменьшение ресурсов подземных вод, при этом изотопически они оказываются близки к современным осадкам за исключением случаев значительного утяжеления составов за счет неравновесного изотопного фракционирования;

— древние льды плейстоценового возраста из пластовых льдов, ледяных клиньев и коренной мерзлоты в случае таяния увеличат ресурсы подземных вод, при этом изотопически они оказываются заметно легче современных вод инфильтрационного происхождения, что позволит идентифицировать их вклад в водный баланс.

*Благодарности. Изотопные измерения выполнены в Ресурсном центре «Рентгенодифракционные методы ис-*

*следования» Научного парка Санкт-Петербургского государственного университета в рамках программы Г3 № AAAA-A19-119091190094-6.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Васильчук, Ю.К. Изотопно-кислородный состав подземных льдов (опыт палеогеокриологических реконструкций) / Ю.К. Васильчук. — М.: РИО Мособлупроприографиздат, 1992. — Т. 1. — 420 с.; Т. 2. — 264 с.
2. Васильчук, Ю.К. Распределение стабильных изотопов кислорода и водорода в ледяном ядре булгунняха на юге Гыданского полуострова / Ю.К. Васильчук, А.Н. Курчатова, Н.А. Буданцева, В.В. Рогов, Ю.Н. Чижова // ДАН. — 2019. — Т. 488. — № 3. — С. 323–328.
3. Васильчук, Ю.К. Изотопный состав снежников и ледников Полярного Урала / Ю.К. Васильчук, Ю.Н. Чижова, Н.А. Буданцева, А.К. Васильчук, Г.Е. Облогов // Вестник Московского университета. Серия 5. География. — 2018. — № 1. — С. 81–89.
4. Гидрология заболоченных территорий зоны многолетней мерзлоты Западной Сибири / В. Батуев, А. Короткевич, М. Марков, Ю. Москвин, С. Новиков, Т. Потапова, В. Смирнова, С. Трофимов, С. Тумановская, Л. Усова / Под. ред. С.М. Новикова. — СПб: ВВМ, 2009. — 536 с.
5. Дубинина, Е.О. Изотопные ( $\delta D$ ,  $\delta^{18}O$ ) параметры и источники опресненных вод Карского моря / Е.О. Дубинина, С.А. Коссова, А.Ю. Мирошников, Р.В. Файзуллина // Океанология. — 2017. — Т. 57. — № 1. — С. 38–48.
6. Малыгина, Н.С. Изотопный состав и регионы-источники зимних осадков в Надымской низменности / Н.С. Малыгина, А.Н. Эйрих, Е.В. Агбаян, Т.С. Папина // Лёд и снег. — 2020. — Т. 60. — № 1. — С. 98–108.
7. Наблюдения за испарением с водной поверхности. Наставления по гидрометеорологическим станциям и постам. — Ч. 2; Вып. 7. — Л.: Гидрометиздат, 1985.
8. Новиков, Д.А. Первые результаты комплексных изотопно-гидрогеохимических исследований неокомских отложений Северо-Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения / Д.А. Новиков, А.Н. Пыряев, Ф.Ф. Дульцев, А.В. Черных, Е.М. Туровская // Сб. тр. конф.: Подземная гидросфера, Иркутск, 2011.
9. Новиков, Д.А. Эволюция состава стабильных изотопов Н, О и С в водах нефтегазоносных отложений северных районов Западной Сибири / Д.А. Новиков и др. // Георесурс, 2023. — Т. 25. — № 4. — С. 219–232.
10. Павлов, А.В. Современные изменения климата. Альбом мелкомасштабных карт / А.В. Павлов, Г.В. Малкова. — Новосибирск: Гео, 2005. — 53 с.
11. Токарев, И.В. Оценка испарения по данным об изотопном составе воды ( $^2H$ ,  $^{18}O$ ) / И.В. Токарев, Г.Н. Амеличев // Ученые записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. География. Геология. — 2020. — Т. 6(72). — № 2. — С. 292–317.
12. Трофимов, В.Т. Геокриологическое районирование Западно-Сибирской плиты / В.Т. Трофимов, Ю.Б. Баду, Ю.К. Васильчук и др. — М.: Наука, 1987. — 222 с.
13. Dansgaard, W. Stable isotopes in precipitation / W. Dansgaard // Tellus. — 1964. — V. 16. — P. 436–468.
14. Papina, T. Impact of Snowmelt Conditions on the Isotopic Composition of the Surface Waters of the Upper Ob River during the Flood Period / T. Papina, A. Eirikh, A. Kotovshchikov, T. Noskova // Water. — 2023. — V. 15, 2096. <https://doi.org/10.3390/w15112096>.
15. Tikhonravova, Y. Isotopic composition of heterogeneous ice wedges in peatlands of the Pur-Taz interfluve (northern West Siberia) / Y. Tikhonravova, E. Slagoda, V. Butakov, E. Koroleva, G. Simonova, R. Sysolyatin // Permafrost and Periglac Process. — 2022. — 10. — 15 p. DOI: 10.1002/ppp.2138.
16. Vasil'chuk, Yu.K. Isotope composition of pingo ice core in the Yeo-Yakha River valley, north-west Siberia / Yu.K. Vasil'chuk, N.A. Budantseva, A.C. Vasil'chuk, K. Yoshikawa, Ye.Ye. Podborny, Ju.N. Chizhova // Earth's cryosphere. — 2014. — V. XVIII. — № 4. — P. 41–51.

© Токарев И.В., Исаков В.А., Исакова Т.Н., 2024

Токарев Игорь Владимирович // i.tokarev@spbu.ru  
Исаков Виктор Александрович // sevz29rc@specgeo.ru  
Исакова Татьяна Николаевна // gge29.monitoring@mail.ru

Статья поступила в редакцию 25.10.2023 г.



Уважаемые друзья!

14 и 15 марта 2024 г. в Красноярске, в отеле Novotel Красноярск Центр, состоится 3-я международная конференция и выставка **TECH MINING СИБИРЬ 2024, ТЕХНОЛОГИИ И ИННОВАЦИИ ДЛЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.**

Конференция собирает представителей горнодобывающих компаний Сибири для взаимодействия, презентации инноваций, экспертных мнений, поиска новых потенциальных клиентов и партнерских отношений, и построения будущего развития отрасли.

15 марта 2024 г. в рамках мероприятия состоится Технический визит делегатов конференции на Новоангарский обогатительный комбинат.



НОВОАНГАРСКИЙ  
ОБОГАТИТЕЛЬНЫЙ  
КОМБИНАТ

Основной вид деятельности Новоангарского обогатительного комбината — это добыча и обогащение свинцово-цинковой руды. На обогатительной фабрике ООО «Новоангарский обогатительный комбинат» производится переработка свинцово-цинковой руды путем дробления, измельчения и обогащения руд методом флотации.

ООО «Новоангарский обогатительный комбинат» с 2022 г. реализует инвестиционную программу с общим плановым объемом 4,5 млрд руб. в сферах строительства, геологоразведки, научно-исследовательских работ, приобретения оборудования и модернизации производства. Основным проектом является проект расширения обогатительной фабрики по дополнительному увеличению мощности переработки свинцово-цинковой руды на 1,5 млн т руды в год.

#### **СРЕДИ СЕССИЙ КОНФЕРЕНЦИИ:**

- разведка месторождений;
- обработка и обогащение полезных ископаемых;
- способы повышения эффективности действующих предприятий;
- цифровизация и роботизация горного предприятия;
- проектирование, строительство и реконструкция горнодобывающего предприятия и многие другие вопросы, связанные с работой горнодобывающих компаний в целом.

[Приглашаем Вас принять участие в работе конференции!](#)

ДАТЫ ПРОВЕДЕНИЯ: 14–15 марта 2024 г.

МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ: Россия, Красноярск, ул. Карла Маркса, 123, Novotel Красноярск Центр.

КОНТАКТЫ ОРГАНИЗАТОРОВ:

Телефон: +7-499-11-205-11

Email: [info@techmining.ru](mailto:info@techmining.ru)

[www.techmining.ru](http://www.techmining.ru)

<https://siberia.techmining.ru/>

Обложка настоящего номера журнала посвящена Государственному докладу «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации» — книге, которая ежегодно выходит уже почти четверть века.

Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации» содержит разноплановую информацию, всесторонне отражающую текущее состояние и тенденции развития минерально-сырьевого комплекса России и мира в условиях современных вызовов и угроз. В нем представлены программные, нормативные, методические и отчетные документы Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Федерального агентства по недропользованию (Роснедра), его территориальных органов и подведомственных организаций. Доклад отражает выполнение поручений Президента Российской Федерации, направленных на развитие отечественной минерально-сырьевой базы, сырьевой и технологический суверенитет.

Таким образом, Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации» выполняет две важнейшие функции. С одной стороны, обеспечивает руководителей государственных органов власти и предприятий горного сектора актуальной информацией для принятия управлеченческих решений в сфере недропользования. С другой — является инструментом взаимодействия государства и общества, с помощью которого граждане России имеют возможность получать актуальную и достоверную информацию о состоянии и использовании недр страны.

Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2022 году» подготовлен большой группой экспертов, в состав которой вошли специалисты учреждений, подведомственных Роснедра: ФГБУ «ВИМС», ФГБУ «ВНИГНИ», ФГБУ «Гидроспецгеология» и ФГБУ «ЦНИГРИ».