

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОЛОГИИ И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ МИРА

Сборник статей
V Международной научно-практической конференции
(г. Уфа, 2-3 апреля 2026 г.)



Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уфимский университет науки и технологий»

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ГЕОЛОГИИ И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ МИРА**

*Сборник статей
V Международной научно-практической конференции
(г. Уфа, 2–3 апреля 2026 г.)*

Научное электронное издание сетевого доступа

Уфа
Уфимский университет
2026

УДК 551+502
ББК 26.3+20.17
А43

*Публикуется по решению кафедры геологии УУНУТ.
Протокол № 8 от 10.04.2026 г.*

Редакционная коллегия:

канд. геогр. наук, доцент **Г. Ф. Хасанова** (*отв. редактор*);
канд. геол.-мин. наук, доцент **В. Н. Никонов**;
д-р геол.-мин. наук, профессор-консультант **С. К. Мустафин**;
д-р геогр. наук, профессор-консультант **А. М. Гареев**;
ведущий инженер **Н. Х. Сагитдинова**

**Актуальные проблемы геологии и охраны окружающей среды в условиях
А43 меняющегося мира:** сборник статей V Международной научно-практической
конференции (2–3 апреля 2026 г.) / отв. ред. Г. Ф. Хасанова [Электронный
ресурс] / Уфимск. ун-т науки и технологий. – Уфа: Уфимский университет,
2026. – 156 с. – URL: [https://uust.ru/media/documents/digital-
publications/2026/093.pdf](https://uust.ru/media/documents/digital-publications/2026/093.pdf) – Загл. с титула экрана.
ISBN 978-5-7477-6381-4

В сборнике представлены научные статьи, посвященные проблемам теоретического и практического изучения геологического строения, гидрологических особенностей, геоэкологии, вопросов современного состояния природно-территориальных систем. Статьи приводятся в авторской редакции, авторы несут ответственность за достоверность материала.

УДК 551+502
ББК 26.3+20.17

ISBN 978-5-7477-6381-4

© Уфимский университет, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

Малобаева А.М., Шерипова Н.Б., Курманбаева Г.А. Геориски в бассейнах рек Кугарт (юг) и Сокулук (север) Кыргызского Тянь-Шаня	5
Хикматов Ф.Х., Жумабаева Г.У., Холтожиева О.Т. О новом варианте метода генетического анализа стока взвешенных наносов горных рек	10
Чалов Р.С., Голубцов Г.Б. Устойчивость русел рек России	15
Чембарисов Э.И., Баллиев А.И., Реймова Г.Б. Анализ многолетней динамики водно-солевого баланса и площади засоленных земель Тахтакупырского района Каракалпакстана	20

СЕКЦИЯ 1. ГЕОЛОГИЯ И ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ НЕДР: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Андрянова Ю.М. Геология и нефтеносность карбонатных отложений северо-западной краевой части Башкирского свода	25
Баширов В.Э., Ганеева А.Р., Савельев Д.Е. Редкоземельная минерализация в гранитах Мазаринского массива (Южный Урал)	27
Бикшанова Э.Т. Раннепермские наутилоидеи местонахождения Шахтау: систематика и палеобиогеографические связи	31
Габидуллин Ф.А. Перспективы добычи лития из попутных вод Арланского нефтяного месторождения ...	33
Ивин В.М. Минералогические особенности и геологическая позиция Тарабердинского месторождения керамзитовых глин Республики Башкортостан	35
Иманалиева Г.М., Турпандыкова Г.О., Собирова М.К. Углеводороды и их распространенность в Кыргызстане	37
Кадырбаков И.Х. Проблемы подготовки месторождений строительного камня на Южном Урале	40
Карамов Н.Э., Машков М.А., Тасмуханова А.Е. Экономическое обоснование разведочных работ на месторождении Якутии	42
Карамов Н.Э., Огуречникова С.Е., Машкова Е.А. Анализ выработанности запасов месторождения Западной Сибири	43
Ложкин И.Д., Хрипунова Р.А. Методика извлечения граната путем химического травления и сравнение состава с месторождением Полдневское	46
Лукманова М.Р. особенности геологического строения и газоносность Ямбургского месторождения	48
Михненко М.М., Дьякова С.А. Седиментологические особенности терригенных отложений верхнего венда в скважине 40 Красноусольская (Шкапово-Шиханская впадина, Восточно-Европейская платформа)	51
Мустафин С.К. Рециклинг техногенного минерального сырья как инструмент циркулярной экономики недропользования	54
Мухаметьянов И.С. Восточный сектор сырьевой политики Российской Федерации	62
Никонов В.Н., Заболотская О.В. Берендейский рудно-россыпной узел (Восточная Якутия)	64

Рыскулова А.В. Состояние изученности лландоверийского отдела силура на западном склоне Южного Урала	68
Сагитдинова Н.Х. Каменная соль как востребованный вид минерального сырья; геология, добыча, ресурсы, спрос	73
Фаткуллин Э.А. Цеолиты как востребованный вид минерального сырья: геология, география, рынок	80
Шабутдинов Т.Д. Минералогическая характеристика хромититов Сарангаевского хромитопоявления (Средний Крака)	85
Шабутдинов Т.Д., Гатауллин Р.А. Гидрогеохимическая характеристика территории массивов Крака (Южный Урал)	88
Якупов Р.Р., Рыскулова А.В. Новые находки конодонтов в суваянском комплексе Уралтау (Южный Урал)	91

СЕКЦИЯ 2. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ И ГИДРОГЕОЛОГИИ

Галимова Г.А. Инженерно-геологические процессы Югомашевского месторождения нефти	95
Милушкин К.С., Милушкина А.В. Инженерно-геологические изыскания территории промышленного освоения северо-восточной части полуострова Ямал	97
Милушкин К.С., Милушкина А.В. Инженерно-геологические изыскания территории промышленного освоения западной части Гыданского полуострова	101
Симонов Д.С. Геологические и инженерно-геологические процессы Воядинского месторождения нефти..	107

СЕКЦИЯ 3. ГИДРОЛОГИЯ, ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И ПРОБЛЕМЫ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Ажиба Т.В. Результаты комплексного исследования озера Гуарап	110
Гареев А.М., Ахмедьянов Д.И., Шевченко А.М., Турьянова Р.Р. Характеристика фототрофного планктона и бентоса малых рек бассейна реки Урал в пределах Российской Федерации и оценка их экологического состояния	116
Голубцов Г.Б. Районирование территории России по водному режиму рек	120
Горячев В.С. О состоянии водных объектов реки Урал в Башкортостане и мероприятиях по рациональному использованию их вод	125
Землянскова А.А., Шихов А.Н. Оценка влияния золотодобычи на мутность рек Магаданской области ...	128
Куракова А.А., Чалова Е.Р., Чалов Р.С. Русловые процессы на реках тундровой зоны Европейской части России	131
Махмудов Ж.К., Хикматов Б.Ф., Карандаева Л.М. Изменения температуры воздуха и высота снежного покрова на перевале Камчик	135
Михайлова Н.М., Крыленко И.В., Лошкова О.В., Турыкин Л.А. Вклад талого стока в бассейне реки Чертановки (г. Москва)	139
Назиркулова М.Б. Комплексная оценка качества воды основных рек Наманганской области	143
Пулодов И.С. Геологические аспекты проблемы кислотных дождей: влияние на литосферу и экзогенные процессы	145
Саттарова Ф.Ю., Нишонов Б.Э., Разикова И.Р. Исследование загрязнения озёр Хорезмской области тяжёлыми металлами	147
Хасанова Г.Ф. Мониторинг состояния геологической среды урбанизированных территорий	150
Эрлапасов Н.Б. Оценка вклада подземных вод в формирование стока горных рек разного типа питания ..	152

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 551.8+551.244

А.М. Малобаева, Н.Б. Шерипова, Г.А. Курманбаева
Кыргызский государственный технический Университет имени И. Раззакова
Кыргызский горнометаллургический институт им. академика У. Асаналиева, г. Бишкек
Научный руководитель: **Ш.Э. Усупаев** д.-р г-м. н,
профессор ЦАИИЗ-Центрально Азиатский институт прикладных исследований Земли, г. Бишкек
Научный консультант **С.К. Мустафин** д.-р г-м. н,
профессор Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

ГЕОРИСКИ В БАССЕЙНАХ РЕК КУГАРТ (ЮГ) И СОКУЛУК (СЕВЕР) КЫРГЫЗСКОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

Аннотация. Геориски на территории Кыргызстана представлены проявлениями опасных природных и индуцируемых их активностью техногенных процессов, обусловленных тектоническим строением, гравитационной энергией рельефа горно-складчатого Тянь-Шаня. Кыргызский Тянь-Шань на 90% территории расположен на высотах более 1500 м. и подвержена частым землетрясениям, оползням, селям, камнепадам и лавинам. Регион расположен в зоне высокой сейсмической активности, что создает постоянную угрозу для инфраструктуры и населения. Современные исследования включают данные дистанционного зондирования, полученной информации из сетей наземного мониторинга эндогенных и экзогенных процессов и явлений. В работе использованы результаты из ранее созданных геобазы данных, геодинамического мониторинга и оценки рисков с использованием ГИС-технологий. Учтены особенности глобального и регионального изменения климата влияющего на увеличение частоты гляциальных (ледниковых) селей и склоновых опасностей в виде различного типа оползней. Исследование по типизации и предупреждению георисков направлена на снижение уязвимости населения и инфраструктуры, а также обеспечение безопасности при освоении территорий. Исследованы особенности распределения георисков и осуществлена их типизация от воздействия опасных процессов на примере репрезентативных бассейнах рек Сокулук в Чуйской межгорной впадине на севере страны и реки Кугарт в Ферганской впадине на юге Кыргызской Республики.

Ключевые слова: геориски, типизация, землетрясения, оползни, сели, камнепады, лавины, опасности

GEORISKI IN THE KUGART (SOUTH) AND SOKULUK (NORTH) RIVER BASINS OF THE KYRGYZ TIAN – SHAN

Abstract. Georisks in Kyrgyzstan are represented by manifestations of hazardous natural and man-made processes that induce their activity, caused by the tectonic structure and gravitational energy of the Tien Shan mountainous topography. Ninety percent of the Kyrgyz Tien Shan lies at altitudes above 1,500 meters and is subject to frequent earthquakes, landslides, mudflows, rockfalls, and avalanches. The region is located in a zone of high seismic activity, posing a constant threat to infrastructure and the population. Current research incorporates remote sensing data and information obtained from ground-based monitoring networks of endogenous and exogenous processes and phenomena. The study utilizes results from previously created geodatabases, geodynamic monitoring, and risk assessments using GIS technologies. The study takes into account the characteristics of global and regional climate change, which influences the increased frequency of glacial mudflows and slope hazards in the form of various types of landslides. A study on the classification and prevention of geohazards aims to reduce the vulnerability of the population and infrastructure, as well as ensure safety during territorial development. The distribution patterns of geohazards were studied and their classification based on the impact of hazardous processes was carried out using representative basins of the Sokuluk River in the Chui Intermountain Depression in the north of the country and the Kugart River in the Fergana Depression in the south of the Kyrgyz Republic.

Keywords: geohazards, classification, earthquakes, landslides, mudflows, rockfalls, avalanches, hazards

Введение «Исследование особенностей проявления экзогенных георисков в бассейне реки Кугарт Сузакского района в Ферганской впадине и реки Сокулук в Чуйской межгорной впадине Кыргызского Тянь-Шаня» вызвано востребованностью в интегрированной оценке и необходимости прогнозирования опасных процессов и явлений эндогенного и экзогенного характера получивших развитие в исследуемом бассейне требующие принятия мер по снижению воздействия угроз на население и их инфраструктуры (рис. 1, 2) [1-7].

Обсуждение результатов. Целью научных исследований, является постановка и решение проблемы: «Комплексное исследование особенностей формирования, развития и проявления экзогенных георисков в бассейне реки Кугарт Сузакского района в Ферганской впадине Кыргызского Тянь-Шаня» и типизация многоступенчатых георисков природного и техногенного характера (рис. 1, 2).

Методы исследований: картирование с использованием наземных съемок и дистанционными способами распространения георисков от оползней, селей, прорывоопасных горных озер, подтоплений, береговой эрозии. На исследуемых бассейнах репрезентативных рек, проведены были нижеследующие комплексные исследования) [1-7].

Обсуждение результатов. Целью научных исследований, является постановка и решение проблемы: «Комплексное исследование особенностей формирования, развития и проявления экзогенных георисков в бассейне реки Кугарт Сузакского района в Ферганской впадине Кыргызского Тянь-Шаня» и типизация многоступенчатых георисков природного и техногенного характера) [1-7].

Геориски в бассейн реки Кугарт (юг) Ферганская впадина. Зоны опасности и прогнозы возможной активизации опасных процессов и явлений. Около 80% территории района относится к горному, а 20% к равнинному типу рельефа. Площадное распространение опасных природных процессов и явлений показано на картах-схемах сейсмической, лавинной, селевой опасности и подтопления (рис.1).

Сейсмическая опасность. Исследуемый бассейн р. Кугарт на карте вероятной сейсмической опасности представлен четырьмя районами ожидаемых землетрясений (РОЗ) – Карасу Кокбельский (ККБ) первой категории опасности с классом ожидаемых землетрясений 14-16, интенсивностью 7-9 баллов, Северо-Ферганский 1 (СФ1), Урумбашский (У-Ш) второй категории опасности с классом ожидаемых землетрясений 12,6-14,5, интенсивностью 5-7 баллов и Узгенский (УЗ) с классом ожидаемых землетрясений 13,5-15,0, для интенсивности 6-8 баллов [4].

Селевая опасность. В исследуемом бассейне р. Кугарт зона второй степени селевой опасности выделяется в северной и юго-западной частях на 11% территории. Зона третьей степени селевой опасности, охватывает участки среднегорий в долине р. Кёк-Арт и юго-западные склоны Ферганского хребта, занимая 58% территории района. Зона четвертой степени селевой опасности включает средне- и низкогорные участки в юго-западной части района (16%). Около 15% территории в равнинной части за исключением русел рек не селеопасные (рис. 1) [5].

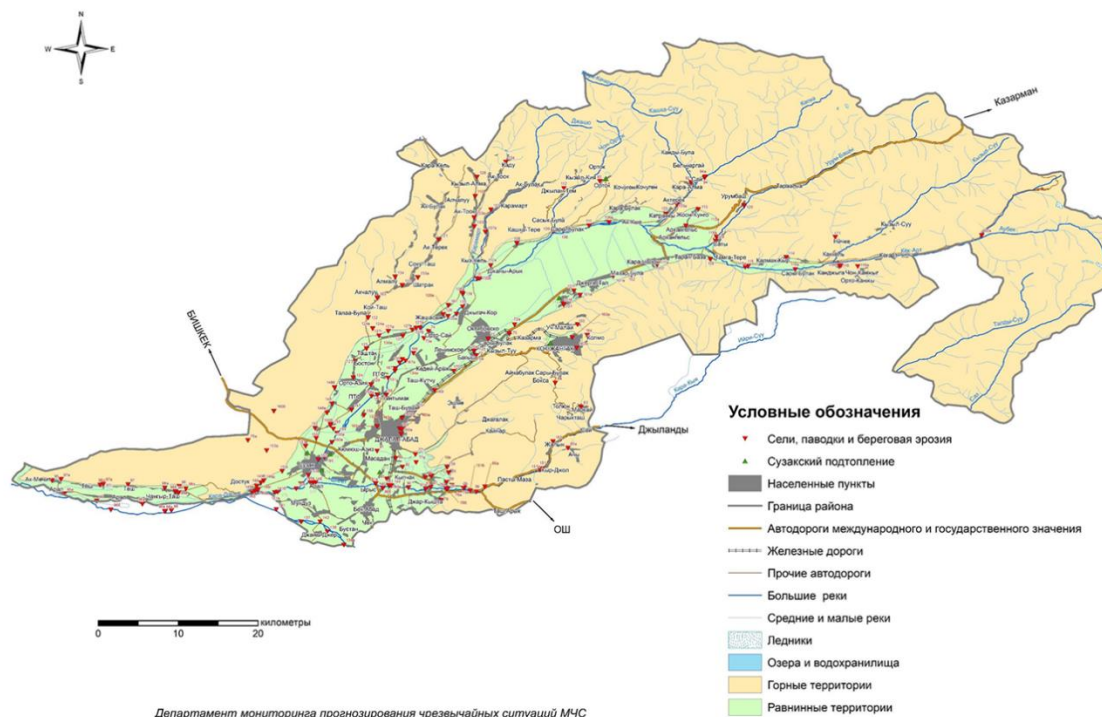


Рис. 1. Карта типизации распространения георисков на территории бассейна реки Кугарт Ферганской впадины

Береговая эрозия. Бассейн р. Кугарт на карте-схеме представлен участками возможной активизации селей, паводков и береговой эрозии в бассейнах рек: Чангет, Кара-Алма, Кичи-Орток, Урум-Башы, Кара-Дарья, Уч-Малай, Кёк-Арт, Карамарт, Ачы-Сай, Чынар-Булак, каналов Кедейарык, Кампарават и склоновых селевых потоков. В зоне возможного поражения селей, паводков и береговой эрозии находятся жилые дома, объекты соцкультбыта, приусадебные участки, автодороги, мосты, подстанции, ирригационная сеть, ЛЭП, сельскохозяйственные угодья. В июле месяце 2024 года в районе был введен режим ЧС из-за прохождения селевых потоков (рис. 1) [5].

Паводки на реках связаны с интенсивным таянием снеготаяния на большой площади в весеннее время, особенно при одновременном выпадении атмосферных осадков. В мае 1998 года во время паводка по реке Кёк-Арт, вызванного снеготаянием, выпали ливневые осадки, что привело к резкому увеличению расходов и подъему уровня воды. Слабо укрепленная правобережная дамба была разрушена. В селе Сузак затоплено 1195 жилых домов, 4 двухэтажных жилых дома, 40 административных зданий, пострадали объекты инфраструктуры, сельхозугодья. Основной причиной большого количества селевых потоков являются ливневые осадки. Во время выпадения интенсивных сконцентрированных по площади атмосферных осадков проявляются сели ливневого характера и участки ливневого затопления (рис. 1) [5].

Лавинная опасность. В бассейне р. Кугарт зона первой степени лавинной опасности находится в высокогорной зоне Ферганского хребта, занимая около 13% площади района. Зона второй степени лавинной опасности занимает более нижние ярусы Ферганского хребта на 10% площади района. Зона третьей степени лавинной опасности приурочена к среднегорьям и низкогорьям отрогов Ферганского хребта (11%). Зона четвертой степени лавиноопасности распространена в низкогорье на 5% площади района. Остальная территория района не лавиноопасна.

Подтопление. Территории с высоким уровнем грунтовых вод приурочены к днищам долин и низким террасам рек. Всего в бассейне р. Кугарт выявлены 254 участки возможной активизации процессов подтопления. Для ликвидации подтопления необходимо, обеспечить функционирование всей существующей коллекторно-дренажной сети: инвентаризация, очистка, ремонт (рис. 1).

Геориски в бассейн реки Сокулук (север) Чуйская межгорная впадина Кыргызстана. На 43,2 % площади района относится к горному, а 56,8% к равнинному типу рельефа. По распространенности и частоте проявления экзогенных опасных процессов преобладают сели и паводки, подтопление грунтовыми водами (рис.2).

Сейсмическая опасность. На Карте-схеме вероятной сейсмической опасности на территории района выделен один район ожидаемых землетрясений (РОЗ) – Аксуу- Сокулукский (АСС) второй категории опасности с классом ожидаемых землетрясений 12,6-14,5, интенсивностью 5-7 баллов [4].

Селевая опасность. Горная территория района подразделена на следующие зоны селевой опасности: второй степени (15,4% площади района) распространена в верховьях рек Жыламыш и Сокулук (а также в пойме и низких террасах реки Сокулук); зона с третьей степенью (17,2% площади района) занимает

среднегорные участки района; зона с четвертой степенью (площадь 8% от территории района) распространена в предгорьях и в низкогорье. В верховьях рек Сокулук и Жыламыш сосредоточены высокогорные прорывоопасные озера, которые увеличивают риск проявления селей и паводков (рис. 2.) [5].

Береговая эрозия. На водотоках района возможно формирование потоков селевого характера. Наиболее опасные, связанные с прорывом высокогорных озер являются долины. Все крупные реки имеют половодье в июле-августе месяцах и это связано с интенсивным таянием ледников и снежников. На более мелких реках и боковых саях период паводков совпадает с весенним таянием снега и накладывающимися дождевыми осадками. Во время выпадения интенсивных сконцентрированных по площади (рис. 2) [5].

Прорывоопасные озера. В долинах рек Сокулук, Жыламыш согласно каталога 2025 года насчитывается 20 прорывоопасных высокогорных озер, из них 2 озера – второй категории, 16- третьей и 2 четвертой категории опасности. Категории прорывоопасности уточнены по результатам мониторинговых наблюдений включая с учетом дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) в период с июля по сентябрь 2026 года (рис. 2) [5].

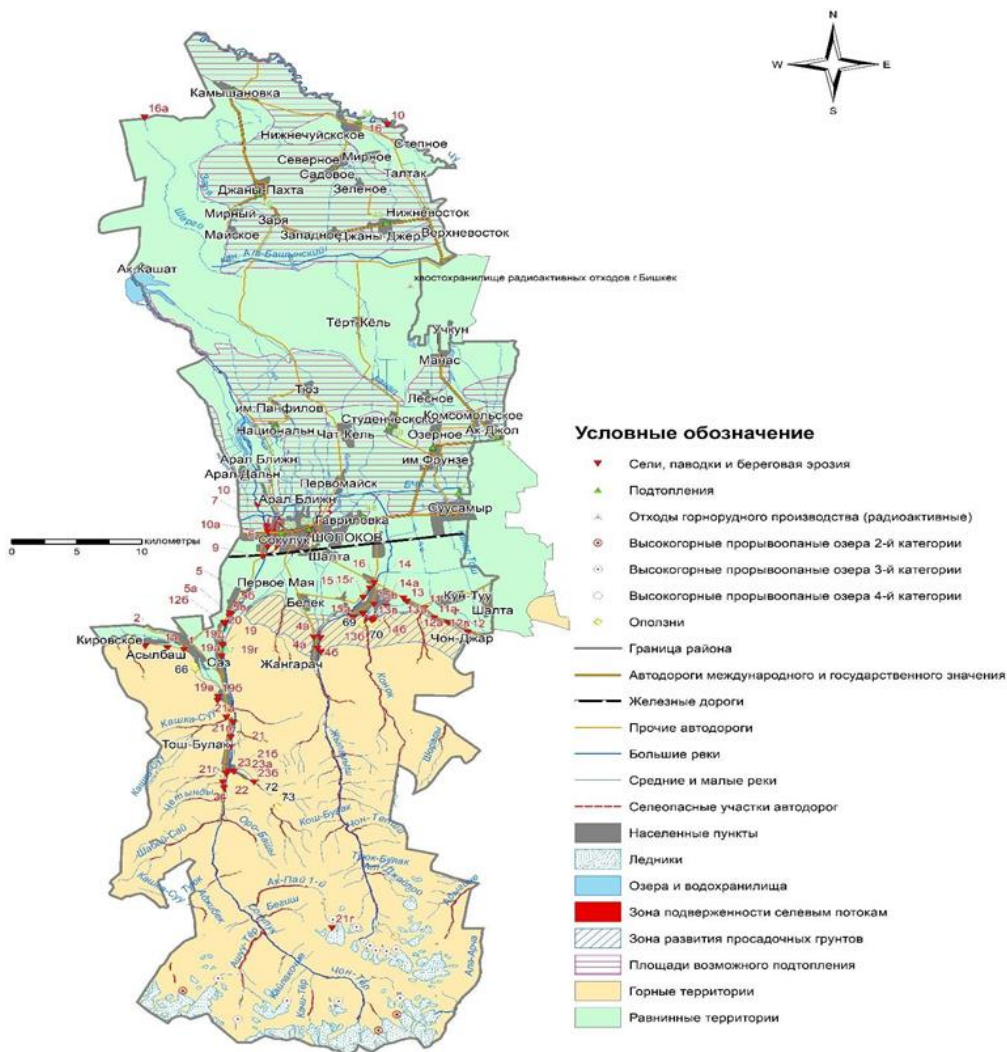


Рис. 2. Карта предупреждения георисков в бассейне р. Сокулук Чуйской межгорной впадины Кыргызстана

Лавинная опасность. Горная территория района по степени лавинной опасности разделена на: зону с первой степенью опасности, занимающей 3% площади района и расположенной в приосевой части Кыргызского хребта; зону со второй степенью лавинной опасности (площадью 14,1% от территории района), распространенной на высокогорных участках района. Зона третьей степени лавинной опасности 10,2% от площади района, и распространена в среднегорных участках района. Зона IV степени лавинной опасности занимает 4,9% площади района, распространена в предгорных и низкогорных участках (рис. 2) [6].

Подтопление. В зону с высоким уровнем грунтовых вод (от 0 до 3 м) попадают населенные пункты в центральной и северной частях района. Неглубокое залегание грунтовых вод обусловлено естественным

выклиниванием, слабой дренированностью данных участков и фильтрацией воды из оросительных систем. На рис. 9.20, табл. 9.43 приведена информация об участках активизации процессов подтопления. Для понижения уровня грунтовых вод необходимо проведение эффективных ирригационно-мелиоративных мероприятий в первую очередь по очистке и восстановлению коллекторно-дренажных сетей (рис. 2).

Оползневая опасность. На карте-схеме типологического инженерно- геологического районирования и прогнозирования оползневой опасности (рис. 1) на территории района выделены два участка со II категорией уязвимости: с первой степенью риска – расположен на склонах поднятия Чон-Арык и по левому борту р. Сокулук; со второй степенью риска – распространяется на все предгорные и низкогорные участки района (15,3% площади района). Остальная горная территория района относится к III категории уязвимости, где активизация склоновых процессов (осыпи, обвалы, камнепады, оплывины), зависит от крутизны и состояния склона (рис. 2) [3].

Оползни. На территории района выявлены оползнеопасные участки, активизация которых возможна при интенсивных ливневых осадках и сильных землетрясениях (рис. 2) [3].

Береговая эрозия наблюдается по левому берегу р. Чу, где размыву подвергаются существующие дамбы, сельхозугодия и другие объекты (рис. 2) [5].

Выводы

1. Исследованы комплексно многоступенчатые и каскадные геориски на репрезентативных бассейнах горных рек Кугарт Сузакского района в Ферганской впадине на юге страны и, в бассейне реки Сокулук Чуйской межгорной впадине в северном Кыргызстане

2. Изучены особенности воздействия природных и антропогенных факторов, определяющих проявления георисков эндогенного и экзогенного характера на распределение и развитие опасных процессов и явлений в виде районов ожидаемых землетрясений РОЗ, активизации оползней, селей, паводков, береговой эрозии, подтопление, прорывоопасных высокогорных озер.

3. Предлагается проводить инновационное интегрированное инженерно-геоэкономическое аналитическое и тематическое картирование георисков, позволяющих выявить закономерности проявления георисков экзогенного и эндогенного характера, с типизацией и прогнозом их развития.

Библиографический список

1. Инструкция по подготовке местных госадминистраций, органов самоуправления к обучению населения правилам обследования, правильного поведения и применения классификации чрезвычайных ситуаций и критериев их оценки в Кыргызской Республики. Бишкек, 2004, -66с (коллектив авторов) (на кыргызском и русском языках)
2. Малый атлас прогнозирования чрезвычайных ситуаций на территории Кыргызской Республики / А.М. Айтиалиев, А.В. Мелешко, Ш.Э. Усупаев, А.Б. Джуманалиев, Е.П. Кравченко, Г.А. Абдрахманова, В.А. Брежнева при участии Б.Д. Молдобекова, А.К. Сарногоева, С.А. Ерохина / Бишкек 2003, 2004 г. – 51 с.
3. Правила прогнозирования активизации оползней и зон поражения при землетрясениях в Кыргызской Республике РДС-21-22-1-97. / К.А. Кожобаев, В.Е. Матыченков, Ш.Э. Усупаев и др./ Бишкек, 1997, 12 с.
4. Порядок долгосрочной оценки уровня сейсмической опасности на территории Кыргызской Республики / Э.М. Мамыров, М.О. Омуралиев, Ш.Э. Усупаев и др. / Бишкек, 2001. – 14 с.
5. Порядок определения зон паводкового и селевого поражения при прорывах горных озер на территории Кыргызской Республики. СП КР 22-102:2001. / С.А. Ерохин, Ш.Э. Усупаев, Б.Д. Молдобеков и др. / – Бишкек, 2001. – 17 с.
6. Порядок кратко- и среднесрочного прогнозирования лавинной опасности на территории Кыргызской Республики. СП КР 22-101:2001. / Ш.Э. Усупаев, Ю.П. Барбат, Б.Д. Молдобеков - Бишкек, 2001. 16 с.
- Прогноз стихийных бедствий на территории Кыргызской Республики. / Б.Д. Молдобеков, А.К. Сарногоев, Ш.Э. Усупаев и др. Бишкек, Алл-Пресс, 1997. – 172 с.
7. Программа действий по развитию и укреплению инвестиционного сотрудничества по подготовке к чрезвычайным ситуациям и реагированию на риски экологической безопасности в Кыргызстане и трансграничных районах. / А.М. Айтиалиев, А.В. Мелешко, Ш.Э. Усупаев, Г.А. Абдрахманова, В.А. Брежнева и др. / Бишкек, 2003. – 57 с.

Ф.Х. Хикматов,
доктор географических наук, профессор
кафедры гидрологии суши и метеорологии,
факультет Физики, НУУз имени Мирзо Улугбека, г. Ташкент
Г.У. Жумабоева,
докторант кафедры гидрологии суши и метеорологии,
НУУз имени Мирзо Улугбека, г. Ташкент
О.Т. Холтожиева,
докторант кафедры гидрологии суши и метеорологии,
НУУз имени Мирзо Улугбека, г. Ташкент

О НОВОМ ВАРИАНТЕ МЕТОДА ГЕНЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ ГОРНЫХ РЕК

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы усовершенствования метода генетического анализа стока взвешенных наносов горных рек. Произведена статистическая оценка многофакторных зависимостей между стоком взвешенных наносов рек и климатическими факторами. Получены уравнения нормализованной регрессии и определены вклады климатических факторов в эти уравнения. Предложен новый вариант метода генетического анализа стока взвешенных наносов горных рек на основе применения объективного метода выравнивания и нормализации корреляционных связей.

Ключевые слова: горные реки, взвешенные наносы, климатические факторы, многофакторная связь, уравнения регрессии, вклад аргументов, оценка.

ABOUT A NEW VERSION OF THE METHOD OF GENETIC ANALYSIS OF SUSPENDED SEDIMENT RUNOFF IN MOUNTAIN RIVERS

Annotation. The paper examines issues of improving the method of genetic analysis of suspended sediment runoff in mountain rivers. A statistical assessment of multifactorial relationships between the flow of suspended sediments in rivers and climatic factors was carried out. Normalized regression equations were obtained and the contributions of climatic factors to these equations were determined. A new version of the method of genetic analysis of suspended sediment runoff of mountain rivers is proposed based on the application of an objective method of alignment and normalization of correlation relationships.

Key words: mountain rivers, suspended sediment, climatic factors, multivariate relationships, regression equations, contribution of arguments, assessment.

Введение. Начиная со второй половины XX века, в условиях глобального изменения климата, усиливается интенсивность смыва почво-грунтов с поверхности речных бассейнов. Это указывает на необходимость изучения процесса водной эрозии, протекающего в горных речных бассейнах и ее продукта - стока взвешенных наносов рек, усовершенствования метода их генетического анализа.

Научная и практическая значимость изучения режима стока взвешенных наносов рек и их генетический анализ отражается в следующем: взвешенные наносы рек являются важным источником гидрологической информации о природных условиях, геологическом строении, почво-грунтах их бассейнов; режим речных наносов является одним из основных компонентов их гидрологического режима; наносы определяют режим русловых процессов, протекающих в руслах рек, водохранилищ и каналов; данные о стоке взвешенных наносов рек, межгодовых колебаниях и количествах, их распределениях по месяцам и сезонам внутри года, гранулометрическом составе являются важнейшими гидрологическими показателями при проектировании, строительстве и эксплуатации гидротехнических и водохозяйственных сооружений; речные наносы являются уникальным сырьем для многих отраслей строительства и промышленного производства.

Фундаментальные исследования, посвященные разработке и совершенствованию метода генетического анализа стока взвешенных наносов рек, выполнены зарубежными учеными: R.E. Horton, N.L. Coleman, J.M. Jansen, R.V. Painter, V.A. Vanoni, W.D. Ellison, W.H. Wishmeier и другими. В странах бывшего Союза и СНГ исследованиям данного вопроса уделяли особое внимание В.Г. Глушков, Б.В. Поляков, Г.И. Шамов, Г.В. Лопатин, Н.И. Маккавеев, Г.Н. Хмаладзе, К.С. Кабанова, А.В. Караушев, М.В. Боголюбова, К.Н. Лисицына, Г.И. Швец, Р.С. Чалов, А.П. Дедков, В.И. Мозжерин, М.И. Алексеевский, С.А. Ахундов и другие. В Узбекистане первые фундаментальные исследования в этом направлении проводились В.Л. Шульцем, О.П. Щегловой, И.А. Ильным и другими. В дальнейшем, аналогичные исследования были продолжены А.А. Ханазаровым, Х.М. Махсудовым, Ю.Н. Ивановым, А.Р. Расуловым, С.Р. Саидовой, З.С. Сирлибаевой и другими. В настоящее время особо выделяются результаты исследований А.Н. Нигматова, Ф.Х. Хикматова, Д.П. Айтбаева, К.Р. Рахманова и других. В их трудах изучены особенности процесса проявления водной эрозии, протекающей в бассейнах горных рек, закономерности формирования стока взвешенных наносов, разработаны ряд вариантов метода их генетического анализа.

Целью данной работы является усовершенствование метода генетического анализа стока взвешенных

наносов горных рек Узбекистана и прилегающих территорий на основе применения объективных методов выравнивания и нормализации корреляционных связей.

Объектом исследования являются горные реки Узбекистана и прилегающих к ним территорий и их сток взвешенных наносов.

Предметом исследования являются вопросы изучения стока взвешенных наносов горных рек Узбекистана и прилегающих территорий в зависимости от климатических факторов и усовершенствование метода их генетического анализа.

Методы исследований. В работе использованы методы географической и гидрологической аналогии, картографии, современных гидрологических расчетов, математической статистики и теории вероятностей, в частности, при оценке тесноты многофакторных связей между взвешенными наносами рек и климатическими факторами применены объективные методы выравнивания и нормализации переменных.

Результаты и их обсуждение. Климатический фактор чрезвычайно важен в проявлении гидрологических процессов. Климатические факторы - температура воздуха, атмосферные осадки, их фазовое состояние, интенсивность, количество, продолжительность и другие показатели играют важную роль в формировании речных наносов. Движущими факторами речных наносов являются поверхностный и русловой сток, образующиеся в результате выпадения дождей, таяния горных ледников и снежного покрова под воздействием температуры воздуха.

Предшествующими исследователями разработаны следующие варианты метода генетического анализа стока взвешенных наносов горных рек: 1) расчленение хронологического графика мутности речных вод; 2) термический анализ стока взвешенных наносов рек; 3) статистическая оценка многофакторных связей между стоком взвешенных наносов рек и природными факторами [3, 6, 8].

Произведен сравнительный анализ сущности каждого из перечисленного варианта и возможностей их применения в практике гидрологических расчетов. Анализ показал, что все ныне существующие варианты метода генетического анализа стока взвешенных наносов горных рек требуют большого объема гидрологических, метеорологических, гляциологических, геологических, геоморфологических и даже ботанических данных. При этом, выполняемые на их основе специальные гидрологические расчеты имеют элементы субъективизма, вернее, они требуют у соискателя высокой квалификации, большого труда и, естественно, много времени. Именно эти обстоятельства указывают на необходимость разработки новых, объективных вариантов метода генетического анализа стока взвешенных наносов горных рек, основанных на широком использовании современных вычислительных технологий с применением математического аппарата.

Известно, что объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей, предложенные Г.А.Алексеевым, широко использованы В.И.Бабкиным, Н.Н.Бобровицкой, Ф.Х.Хикматовым и другими в различных областях гидрометеорологии. В трудах Г.А.Алексеева, В.И.Бабкина, Н.Н.Бобровицкой и других, подробно изложены теоретические основы применения этих методов в гидрометеорологии [1, 7].

В данной работе, в качестве основных гидрометеорологических переменных, нами были приняты следующие: средние годовые расходы взвешенных наносов рек (R , кг/с); суммы осадков холодного ($\sum X_{хп}$, мм) и теплого ($\sum X_{тп}$, мм) полугодий, средняя температура воздуха теплого полугодия ($\bar{t}_{тп}$, °C).

Расчеты выполнены в следующей последовательности. Вначале значения рядов гидрометеорологических переменных приведены в возрастающий порядок. Затем определены их порядковые (ранговые) номера. На их основе рассчитаны значения эмпирической вероятности членов ряда:

$$P_m = \frac{m-0,25}{N+0,25}, \quad (1)$$

где m - номер ранга в порядке возрастания членов ряда, N - число членов ряда.

Нормированные значения гидрометеорологических переменных определены по следующей интегральной функции:

$$P_j(X_{ji}) = P_m = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{U_m} e^{-\frac{U^2}{2}} \cdot dU = \Phi(U_m), \quad (2)$$

как обратная функция или их квантилей по выражению:

$$U_m = F[P_m] = F[P_j(X_{ji})] = U_j(X_{ji}), \quad (3)$$

где j - порядковый номер гидрометеорологических переменных, например, здесь $j = 0,1,2,3$; i - порядковые номера членов ряда, $i = 1,2, \dots, N$.

На следующем этапе рассчитаны парные произведения нормированных значений переменных. На основе сумм этих парных произведений рассчитаны эмпирические коэффициенты ковариации ($\mu_{01}, \mu_{02}, \mu_{03}, \mu_{12}, \mu_{13}, \mu_{23}$):

$$\mu_{jj}(N) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N U_{ji}(X_0) \cdot U_{ji}(X_1). \quad (4)$$

Зная вычисленные по выражению (4) значения коэффициентов ковариации, рассчитаны коэффициенты парной корреляции ($r_{01}, r_{02}, r_{03}, r_{12}, r_{13}, r_{23}$) по следующей формуле:

$$r_{jj} = \frac{\mu_{jj}(N)}{\sigma_u^2(N)}, \quad (5)$$

где $\sigma_u^2(N)$ - эмпирическая дисперсия, определяется во выражению:

$$\sigma_u^2(N) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N U_i(X_0). \quad (6)$$

Неизвестные коэффициенты регрессии ($\alpha_{01}, \alpha_{02}, \alpha_{03}$) нормализованных уравнений многофакторных связей определены путем решения следующей системы линейных уравнений:

$$\begin{cases} \alpha_{01} + r_{12} \cdot \alpha_{02} + r_{13} \cdot \alpha_{03} = r_{01} \\ r_{12} \cdot \alpha_{01} + \alpha_{02} + r_{23} \cdot \alpha_{03} = r_{02} \\ r_{13} \cdot \alpha_{01} + r_{23} \cdot \alpha_{02} + \alpha_{03} = r_{03} \end{cases} \quad (7)$$

Вычисленные значения коэффициентов регрессии позволили составить уравнение нормализованной регрессии, имеющее следующий общий вид:

$$U_0(X_0) = \alpha_{01} \cdot U_1(X_1) + \alpha_{02} \cdot U_2(X_2) + \alpha_{03} \cdot U_3(X_3). \quad (8)$$

Статистический показатель точности уравнения нормализованной регрессии, то есть полный коэффициент корреляции (r_0), определяется следующим выражением:

$$r_0 = \sqrt{|r_{01} \cdot \alpha_{01}| + |r_{02} \cdot \alpha_{02}| + |r_{03} \cdot \alpha_{03}|}. \quad (9)$$

Ошибка полного коэффициента корреляции, в зависимости от числа аргументов (ℓ) и членов ряда (N), рассчитана по следующей формуле:

$$\sigma_{r_0} = \pm 0,674 \frac{1-r_0^2}{\sqrt{N-\ell}}. \quad (10)$$

Вклады $[\delta(X_1), \delta(X_2), \delta(X_3)]$ переменных в нормализованное уравнение (8), составленное для каждой реки, определены по выражению:

$$\delta(X_j) = \frac{r_{0j} \cdot \alpha_{0j}}{r_0}. \quad (11)$$

Применение метода Г.А.Алексеева при разработке нового варианта генетического анализа стока взвешенных наносов рек, имеет важное значение именно в этом аспекте.

На основе применения данного метода, выполнена статистическая оценка многофакторных зависимостей между средними годовыми расходами взвешенных наносов рек (R_r) и климатическими факторами – сезонными осадками ($X_{хп}, X_{тп}$) и летней температурой воздуха ($\bar{t}_{тп}$). Статистические показатели, выражающие тесноту многофакторных связей между взвешенными наносами рек и влияющими на них факторами, в том числе коэффициенты парной корреляции ($r_{01}, r_{02}, r_{03}, r_{12}, r_{13}, r_{23}$), коэффициенты регрессии ($\alpha_{01}, \alpha_{02}, \alpha_{03}$) и коэффициенты полной корреляции ($r_0 \pm \sigma_{r_0}$), были определены с помощью вышеприведенных выражений. Расчёты, с целью обеспечения однородности и сопоставимости полученных результатов, выполнены в соответствии с расчётными годами, принятыми в исследованиях О.П.Щегловой (табл. 1).

Таблица 1

Пределы изменения статистических показателей связей между расходами взвешенных наносов рек и климатическими факторами

Тип питания	n	Пределы изменений			
		$\frac{r_{R_r, X_{хп}}}{\alpha_{02}}$	$\frac{r_{R_r, X_{тп}}}{\alpha_{02}}$	$\frac{r_{R_r, \bar{t}_{тп}}}{\alpha_{03}}$	$r_0 \pm \sigma_{r_0}$
Бассейн Амударьи					
СД	3	$\frac{0,547}{0,521} \div \frac{0,768}{0,613}$	$\frac{0,593}{0,339} \div \frac{0,701}{0,700}$	$\frac{-0,355}{-0,220} \div \frac{-0,111}{-0,070}$	$0,826 \pm 0,063$ $\div 0,890 \pm 0,048$
		$\frac{0,598}{0,435} \div \frac{0,807}{0,624}$	$\frac{0,419}{0,347} \div \frac{0,712}{0,513}$	$\frac{-0,319}{-0,154} \div \frac{0,122}{0,104}$	$0,795 \pm 0,061$ $\div 0,860 \pm 0,043$
СЛ	3	$\frac{0,176}{0,299} \div \frac{0,389}{0,637}$	$\frac{-0,121}{-0,238} \div \frac{0,311}{0,430}$	$\frac{0,480}{0,596} \div \frac{0,576}{0,709}$	$0,692 \pm 0,087$ $\div 0,769 \pm 0,070$
		$\frac{-0,322}{-0,292} \div \frac{0,112}{0,119}$	$\frac{-0,232}{-0,296} \div \frac{-0,061}{-0,194}$	$\frac{0,667}{0,648} \div \frac{0,764}{0,898}$	$0,739 \pm 0,081$ $\div 0,815 \pm 0,058$
Бассейн Сырдарьи					
СД	4	$\frac{0,606}{0,524} \div \frac{0,695}{0,567}$	$\frac{0,497}{0,304} \div \frac{0,592}{0,457}$	$\frac{-0,314}{-0,341} \div \frac{-0,076}{-0,059}$	$0,722 \pm 0,102$ $\div 0,804 \pm 0,067$
		$\frac{0,628}{0,520} \div \frac{0,690}{0,619}$	$\frac{0,452}{0,242} \div \frac{0,586}{0,340}$	$\frac{-0,290}{-0,096} \div \frac{-0,242}{-0,045}$	$0,740 \pm 0,090$ $\div 0,744 \pm 0,089$
СЛ	1	$\frac{0,222}{0,418}$	$\frac{-0,082}{-0,196}$	$\frac{0,472}{0,621}$	$0,634 \pm 0,107$
Бассейны рек Чу, Талас и оз. Иссыккуль					
СД	2	$\frac{0,377}{0,316} \div \frac{0,428}{0,359}$	$\frac{-0,466}{-0,529} \div \frac{0,518}{0,540}$	$\frac{0,102}{0,247} \div \frac{0,241}{0,365}$	$0,652 \pm 0,098$ $\div 0,683 \pm 0,099$
		$\frac{0,318}{0,318} \div \frac{0,346}{0,358}$	$\frac{-0,238}{-0,327} \div \frac{0,281}{0,328}$	$\frac{0,384}{0,385} \div \frac{0,421}{0,435}$	$0,596 \pm 0,112$ $\div 0,607 \pm 0,113$

Примечание: типы питания; СД - снегово-дождевое; С - снеговое; СЛ - снегово-ледниковое; Л - ледниковое; n - число пунктов наблюдений; $r_{R_r, X_{хп}}$, $r_{R_r, X_{тп}}$, $r_{R_r, \bar{t}_{тп}}$ - парные коэффициенты корреляции; α_{01} , α_{02} , α_{03} - коэффициенты регрессии; r_0 - полный коэффициент корреляции и его ошибка.

Уравнения нормализованной регрессии, позволяющие оценить величину стока взвешенных наносов рек, составлены, аналогично уравнение (8), в следующем общем виде:

$$U_0(R_r) = \alpha_{01} \cdot U_1(X_{хп}) + \alpha_{02} \cdot U_2(X_{тп}) + \alpha_{03} \cdot U_3(\bar{t}_{тп}), \quad (12)$$

где: $U_0(R_r)$, $U_1(X_{хп})$, $U_2(X_{тп})$, $U_3(\bar{t}_{тп})$ – соответственно, нормализованные значения средних годовых расходов взвешенных наносов, сумм осадков холодного (X-III) и теплого (IV-IX) полугодий и средней температуры воздуха теплого полугодия.

Рассчитаны вклады осадков холодного $[\delta(\sum X_{хп})]$ и теплого $[\delta(\sum X_{тп})]$ полугодий, а также температуры воздуха теплого полугодия $[\delta(\bar{t}_{тп})]$ в уравнение нормализованной регрессии (12) с помощью выражения (11). Выявлено, что вклады различных климатических факторов в формирование стока взвешенных наносов рек, изменяются в зависимости от их типа питания. В реках снегово-дождевого (СД) и снегового (С) типов питания, вклады осадков холодного $[\delta(X_{хп})]$ и теплого $[\delta(X_{тп})]$ полугодий больше, чем вклады температуры теплого полугодия $[\delta(\bar{t}_{тп})]$. В формировании стока взвешенных наносов рек снегово-ледникового (СЛ) и ледникового (Л) типов питания, наоборот, вклады осадков обоих сезонов невелики, а вклад температуры воздуха теплого полугодия $[\delta(\bar{t}_{ия})]$ увеличивается.

Произведено сопоставление вычисленных нами значений вкладов климатических факторов в формирование стока взвешенных наносов рек с результатами, полученными О.П.Щегловой на основе применения различных вариантов метода генетического анализа (рис.1).

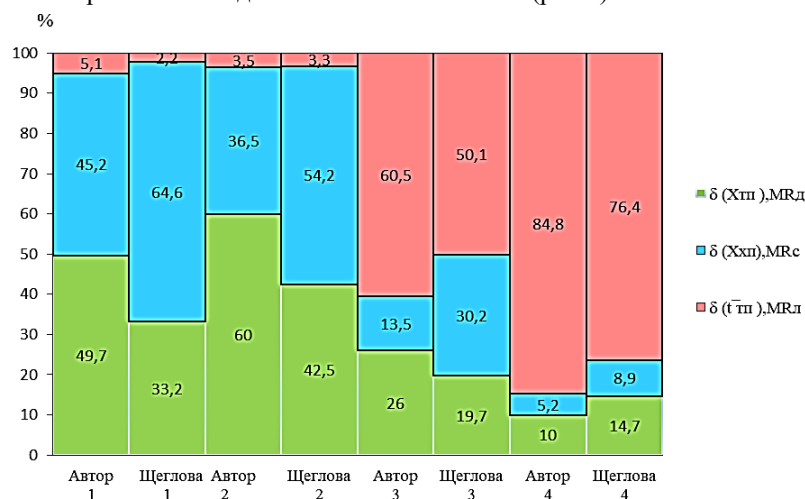


Рис. 1. Сопоставление вкладов климатических факторов в формирование стока взвешенных наносов рек (авторы) с долями смыва за счет вод, сформированных из различных источников (Щеглова).

1 – снегово-дождевое, 2 – снеговое, 3 – снегово-ледниковое и 4 – ледниковое типы питания рек

Вклады осадков теплого полугодия $[\delta(X_{тп})]$ сопоставлялись с долями дождевого смыва (M_{R_d}), вклады осадков холодного полугодия $[\delta(X_{хп})]$ сравнивались с долями талого снегового смыва (M_{R_c}) и вклады температуры теплого полугодия $[\delta(\bar{t}_{тп})]$ – с долями талого ледникового смыва (M_{R_l}) О.П. Щегловой (табл. 2).

Таблица 2

Зависимости между относительными модулями смыва за счет дождевых, талых снеговых и ледниковых вод и вкладами климатических факторов

№ п/п	Уравнения регрессии	$r \pm \sigma_r$
1	$M_{R_d} = 1,007 \cdot [\delta(X_{тп})] + 15,227$	$0,829 \pm 0,042$
2	$M_{R_c} = 0,288 \cdot [\delta(X_{хп})] + 7,099$	$0,708 \pm 0,069$
3	$M_{R_l} = 0,858 \cdot [\delta(\bar{t}_{тп})] + 0,112$	$0,961 \pm 0,012$

Примечание: модули смыва за счет дождевых (M_{R_d}), талых снеговых (M_{R_c}) и ледниковых вод (M_{R_l}); $\delta(X_{тп})$, $\delta(X_{хп})$ и $\delta(\bar{t}_{тп})$ – соответственно, вклады осадков теплого, холодного полугодий и температуры воздуха теплого полугодия; $r \pm \sigma_r$ – коэффициент корреляции и его ошибка.

Связи между долями смыва за счёт вод, сформированных из различных источников и вкладами климатических факторов свидетельствуют об их корреляции. В частности, доля дождевого смыва (M_{R_d}) и

вклады осадков теплого полугодия $[\delta(X_{\text{ТП}})]$ в нормализованные уравнения регрессии близки между собой ($r=0,829\pm 0,041$). Вклады температуры воздуха теплого полугодия $[\delta(X_{\text{ТП}})]$ коррелируются ($r=0,961\pm 0,012$) с величинами смыва талого ледникового смыва ($M_{Rл}$). Аналогичный положительный результат ($r=0,708\pm 0,069$) характерен для связи между величинами талого снегового смыва (M_{Rc}) и вкладами осадков холодного полугодия $[\delta(x_{\text{ХП}})]$.

Таким образом, в работе показано, что вклады атмосферных осадков тёплого $[\delta(x_{\text{ТП}})]$ и холодного $[\delta(x_{\text{ХП}})]$ полугодий и температуры воздуха тёплого полугодия $[\delta(t_{\text{ТП}})]$ коррелируются, соответственно, с долями смыва почво-грунтов за счёт дождевых ($M_{Rд}$), талых снеговых (M_{Rc}) и ледниковых ($M_{Rл}$) вод. Такой положительный результат свидетельствует о больших возможностях использования многофакторных связей стока взвешенных наносов рек с климатическими факторами при их генетическом анализе.

Установленные в работе многофакторные связи между стоком взвешенных наносов рек и климатическими факторами, дают возможность рекомендовать их в качестве нового варианта метода генетического анализа. Преимущество данного варианта, относительно предыдущих, заключается прежде всего, в его объективности. Это связано с тем, что при практическом применении нового варианта используются данные стандартных гидрологических и метеорологических наблюдений, а расчёты выполняются с применением современных компьютерных технологий на основе изложенного выше математического аппарата.

В качестве основных **выводов** выполненной работы можно отметить следующие:

1. Выполнена статистическая оценка многофакторных связей, с применением объективных методов выравнивания и нормализации корреляционных связей между СВН рек и климатическими факторами. Составлены, для каждой реки в отдельности, уравнения нормализованной регрессии многофакторных зависимостей. Статистические показатели точности этих уравнений, т.е. значения полных коэффициентов корреляции, в 8 случаях (32%) полностью выполнили условия $r_0 > 0,800$, в 11 случаях (44%) $0,700 < r_0 < 0,800$.

2. Оценен вклад климатических факторов в нормализованные уравнения регрессии. Вклады климатических факторов в формирование СВН рек сопоставлены с относительными величинами - долями смыва за счет дождевых ($M_{Rд}$), талых снеговых (M_{Rc}) и ледниковых ($M_{Rл}$) вод, определенных О.П.Щегловой. Парные коэффициенты корреляции связей, выражающих их совместимость, изменяются в пределах: $r=0,708\pm 0,069$ до $0,961\pm 0,012$.

3. Предложен новый вариант метода генетического анализа стока взвешенных наносов горных рек. Преимущество данного варианта проявляется, во – первых в его объективности. Во вторых, при его применении в практике гидрологических расчётов используются стандартные данные гидрометеорологических наблюдений. В третьих, при выполнении специальных расчётов, связанных с определением вкладов климатических факторов в формирование стока взвешенных наносов рек, используются современные компьютерные технологии и их стандартные программы.

Библиографический список

1. Алексеев Г.А. Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей. - Л.: Гидрометеиздат, 1971. - 363 с.
2. Иванов Ю.Н. Сток взвешенных наносов рек бассейна Сырдарьи. - Тр. САНИГМИ. - 1967. - Вып. 36(51). - 309 с.
3. Кабанова К.С. Генетический анализ режима стока взвешенных наносов рек Средней Азии // Учен. зап. ЛГУ. Сер. географическая. - 1952. - № 152. - Вып. 8. - С. 107-158.
4. Караушев А.В. Теория и методы расчета речных наносов. - Л.: Гидрометеиздат, 1977. - 272 с.
5. Лопатин Г.В. О водной эрозии и стока наносов в горной области Средней Азии // Вопросы географии. - 1949. - N 15. - С. 193-204.
6. Ташметов Х.К. Генетический анализ стока взвешенных наносов горных рек Грузии // Тезисы докладов Республиканской научно-технической конференции молодых ученых и специалистов по водному хозяйству "Внедрение НИР в водное хозяйство". - Ташкент, 1981. - С. 142-144.
7. Хикматов Ф.Х. Водная эрозия и сток взвешенных наносов горных рек Средней Азии. – Ташкент: «Fan va texnologiya», 2011. - 248 с.
8. Щеглова О.П. Генетический анализ и картографирование стока взвешенных наносов рек Средней Азии. - Л.: Гидрометеиздат, 1984. - 127 с.
9. Шульц В.Л. Реки Средней Азии. Ч. 1,2. - Л.: Гидрометеиздат, 1965. - 691 с.

© Хикматов Ф., Жумобаева Г.У., Холтожиева О.Т., 2026

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
г. Москва
д-р географ наук, профессор

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
г. Москва
канд. географ. наук, мл. науч. сотрудник

УСТОЙЧИВОСТЬ РУСЕЛ РЕК РОССИИ¹

Аннотация. В статье дается интегральная характеристика устойчивости русел рек России на основе двух показателей – числа Лохтина и коэффициента стабильности Н.И. Маккавеева. Составленная по этим показателям карта позволила установить региональные закономерности интенсивности русловых деформаций на малых и средних реках и их изменчивость по длине больших и крупнейших рек в зависимости от условий формирования русел, уклонов, стока и состава руслообразующих наносов.

Ключевые слова: русловые процессы, устойчивость русел, число Лохтина, интенсивность деформаций, уклоны.

CHANNEL STABILITY OF RIVERS IN RUSSIA

Abstract. The article provides an integrated characterization of the stability of river channels in Russia based on two indicators—the Lokhtin number and the stability coefficient proposed by N. I. Makkaveev. The map compiled using these indicators made it possible to identify regional patterns in the intensity of channel deformations in small and medium-sized rivers, as well as their variability along the length of large and major rivers depending on channel formation conditions, gradients, discharge, and the composition of channel-forming sediments.

Keywords: channel processes, channel stability, Lokhtin number, deformation intensity, gradients.

Введение. Русловые деформации являются основной формой проявления русловых процессов, создающих сложности при водохозяйственном и водотранспортном освоении рек и опасность разрушения инженерных, хозяйственных и коммунальных объектов на берегах. Размывы берегов рек и обмеление акваторий портов, причалов, судовых ходов и водозаборов, смещение русел от населенных пунктов и промышленных предприятий, развитие то одних, то других рукавов, спрямление излучин, врезание русла и вызванное им понижение отметок водной поверхности – это лишь неполный и в общем виде перечень последствий руслоформирующей деятельности рек. Но они по-разному, с разной интенсивностью осуществляются на реках, протекающих в разных природных условиях. На одних реках они приводят к трансформации русел практически постоянно, создавая массу препятствий и сложностей при использовании водных и других речных ресурсов; на других – русло не изменяется в течении десятилетий и даже столетий, и трудности при их освоении возникают не вследствие русловых деформаций, а благодаря качеству вод, их загрязненности, скоростей течения и т.д.

Интегральной оценкой русловых деформаций, характеризующей в общем виде их проявления, являются число Лохтина и коэффициент стабильности русла Н.И. Маккавеева, предложенные в связи с созданием на реках водных путей и необходимостью обеспечения таких габаритов судовых ходов, которых создают, как минимум, нормальные условия для движения флота. Будучи показателями устойчивости русел, т.е. их деформируемости во времени, они характеризуют реки в отношении изменчивости, по существу, для любых видов их освоения.

Результаты исследований. Интенсивность переформирования речных русел в интегральном виде определяется степенью устойчивости русла. Этот показатель коррелирует с количественными оценками русловых деформаций – скоростями перемещения грядовых форм руслового рельефа (побочней, осередков) и параметрами их сезонных и многолетних деформаций, скоростями размыва пойменных берегов и оголовков островов, периодичностью развития и темпами смещения форм русла (переформированием рукавов разветвлений, спрямлением и смещением излучин, трансгрессивным и регрессивным смещением островов и т.д.). Эти и другие характеристики меняются по длине рек в зависимости от геолого-геоморфологического строения речных долин, состава руслообразующих наносов, уклонов русла (Чалов, 2008; Лодина, 1997).

¹Выполнено по плану НИР (ГЗ) кафедры гидрологии суши и научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова при финансовой поддержке РНФ (проект 23-17-00065)

Для оценки устойчивости русла в разное время был предложен ряд показателей, однако большинство из них достаточно сложна и требует выполнения специальных изысканий для получения необходимых данных для их расчетов. Наиболее универсальным и в то же время часто применяемым и информативным является предложенное еще в начале XX в. число Лохтина $L = \frac{d_{cp}}{I}$. Используемые при его расчете значения крупности руслообразующих наносов d_{cp} (мм) и уклона I (‰) или, что то же самое, километрического падения H (м/км) реки могут быть легко получены как при проведении русловых исследований, так и при работе с картографическим материалом и литературными источниками. Вторым показателем является безразмерный (в отличие от числа Лохтина) коэффициент стабильности Н.И. Маккавеева (Проектирование ..., 1964) $K_c = \frac{d_c}{I b_p} * 1000$, где I – безразмерная величина уклона, b_p – ширина русла.

К настоящему времени в процессе выполнения русловых исследований получено большое количество значений этих показателей, скорректированных на многих реках Северной Евразии по данным натурных наблюдений. Р.С. Чаловым (2008) предложена классификация русел рек по устойчивости (табл. 1), являющаяся развитием первой классификации автора самого первого показателя В.М. Лохтина [1897д], впоследствии уточненной М.И. Львовичем [1938] и Н.И. Маккавеевым [1949, Проектирование..., 1964]. В основу классификации положены интервалы значений показателей степени устойчивости. Именно эти классификации рек по степени устойчивости позволила выполнить районирование территории России по устойчивости речных русел (рис. 1). При этом она соотносится, ввиду размерности числа L и зависимости ширины русла b_p в K_c от размеров реки к относительно крупным средним и большим рекам. Для малых и крупнейших рек Р.С. Чаловым [2008] были предложены специально для них полученные значения L и K_c (крупнейшие реки) или поправочные коэффициенты на размер реки (небольшие средние и малые реки). Схема районирования территории России позволяет в первом приближении оценить интенсивность русловых переформирований, преимущественно горизонтальных и связанных со смещением грядовых форм руслового рельефа, что важно при оценке опасности русловых деформаций и планировании мероприятий по их предотвращению или регулированию русловых процессов при водохозяйственном и водотранспортном освоении рек. Следует отметить, что, как и всякая интегральная характеристика, степень устойчивости русла являясь универсальным показателем процессов, является достаточно изменчивым, особенно при интенсивном антропогенном вмешательстве.

Таблица 1

Классификация русел рек по степени устойчивости (по Р.С. Чалову [2008]).

Характеристика устойчивости русел	Интенсивность русловых деформаций	Показатели устойчивости	
		L	K_c
абсолютно неустойчивые	очень высокая	< 1,0	< 2
неустойчивые	высокая	1-2,5	2-4
слабоустойчивые	повышенная	2,5-5	4-15
относительно устойчивые	умеренная	5-10	15-20
устойчивые	слабая	10-50	20-100
абсолютно устойчивые	отсутствует	> 50	> 100

Анализ распределения показателей степени устойчивости русел показал зависимость ее от особенностей геолого-геоморфологического строения территории, по которым протекают реки. Наиболее устойчивыми являются русла горных или крупных равнинных рек в горных областях, сложенных неразмываемыми или трудноразмываемыми породами. Таковы верхняя и средняя Лена, Витим, верхний и средний Алдан и другие реки, русла которых по составу руслообразующих наносов являются галечно-валунными. Русла этих рек отличаются постоянством форм руслового рельефа и практически неизменной формой в плане (горизонтальные русловые деформации заключаются лишь в периодических переформированиях, причем незначительных, отдельных перекаатов). Исключение составляют горные реки, протекающие в селевых районах, когда благодаря поступлению в изобилии рыхлого обломочного материала в русла и высокой скорости его перемещения, морфологический облик русел определяется частотой прохождения каждого селя, формирование русла на участках транзита селевого потока или аккумуляции селевых наносов. Практически нетрансформируемыми и, соответственно, абсолютно устойчивыми являются порожисто-водопадные и врезанные горные русла с развитыми и неразвитыми аллювиальными формами, переформирования которых сводятся к перемещению отдельных валунов и глыб, а также их поступлению со склонов вследствие обвальных и осыпных процессов.

Активнее происходят деформации горных русел с развитыми аллювиальными формами в пределах долинных расширений, где значения уклонов и крупность наносов резко уменьшаются при смене врезанного горного русла широкопойменным в больших внутригорных котловинах. Полугорные реки, протекающие в переходных зонах от горных районов к равнинным, как и реки во внутригорных котловинах, обычно характеризуются неустойчивыми и слабоустойчивыми руслами, так как здесь также происходит существенное снижение крупности наносов (от глыбово-валунного и валунного до галечного и песчано-галечного) при

резком уменьшении уклонов, сопровождающееся столь же резким изменением формы транспорта наносов. Последнее обстоятельство обуславливает полное местное несоответствие показателей устойчивости реальным русловым деформациям (здесь обычно формируются разбросанные русла) и постоянные (при прохождении каждого паводка) переформирования русел, что обуславливает необходимость ввода в них поправочных коэффициентов.

Русла равнинных рек с преимущественно галечно-валунным составом наносов (многие реки и участки рек Дальнего Востока, Восточной Сибири и северо-востока России) отличаются повышенной устойчивостью и, как следствие, стабильностью форм русла в плане. Значение числа Лохтина на отдельных реках достигает 80-120 и более, а сами русла относятся к абсолютно устойчивым. В то же время особенности водного режима на реках Дальнего Востока и Северо-востока предопределяют наиболее яркое и регулярное проявление здесь экстремальных деформаций, существенно изменяющих морфологию русел после каждого их проявления.

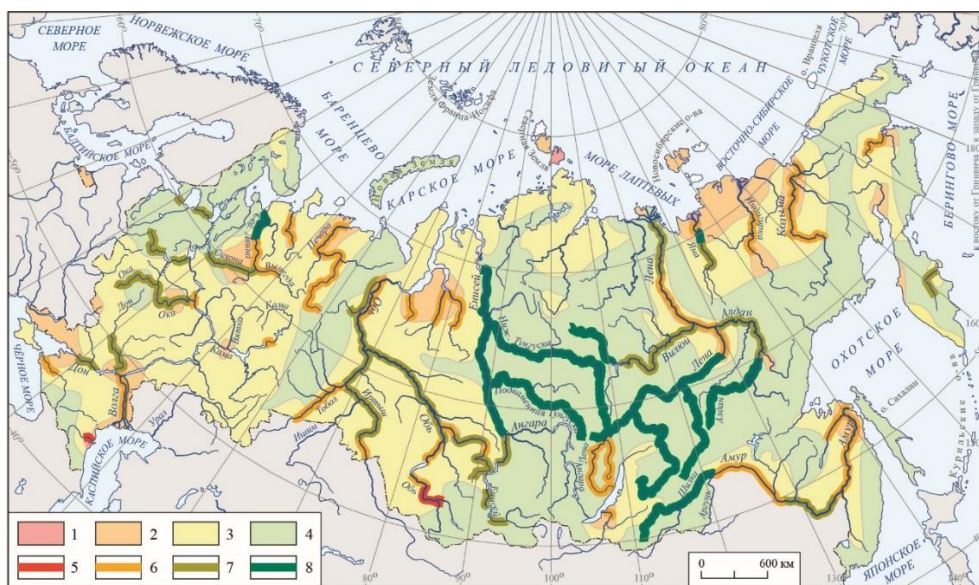


Рис. 1. Районирование территории России по устойчивости речных русел. Районы малых и средних рек (1–4), русла больших и крупнейших рек (5–8): 1,5 – неустойчивые; 2,6 – слабоустойчивые; 3,7 – относительно устойчивые; 4,8 – устойчивые и абсолютно устойчивые

Принято считать, что по длине равнинных рек вниз по течению в связи с существенным уменьшением крупности наносов и меньшим снижением уклонов происходит снижение устойчивости русел, особенно на больших и крупнейших реках. Однако на большинстве из них прослеживается более сложная картина изменений устойчивости, а общая закономерность проявляется только на реках, берущих начало в горах или на возвышенностях (Валдайской, Среднерусской и других на Восточно-Европейской равнине) и затем протекающих по равнинным и низменным территориям. В большинстве же своем для каждой реки особенности геолого-геоморфологического строения долин и регионов, в которых они протекают, приводят к достаточно сложной картине изменений устойчивости русел по длине рек. На р. Лене, например, низкие показатели числа Лохтина отмечаются уже в среднем течении (от г. Покровска), и вплоть до п. Жиганска (полярный круг) русло является в основном слабоустойчивым, соответственно, характеризуясь самими сложными разветвлениями и их переформированиями. Ниже по течению сужение дна долины и тем более расположение реки в Ленской «трубе» (пересечение горного массива «кряж Чекановского–Хараулахские горы») русло становится относительно прямолинейным неразветвленным, а его устойчивость возрастет в 3-6 раз. Вообще на реках Севера и Восточной Сибири устойчивость определяется, кроме прочего, распространением многолетнемерзлых грунтов, которые при прочих равных условиях, цементируя рыхлые аллювиальные отложения, замедляют темпы смещения побочной и осередков. При оттаивании мерзлоты (в том числе из-за увеличения теплового стока (Магрицкий, 2015) при одновременно увеличении водного стока как следствие гидроклиматических изменений) происходит активизация размыва форм руслового рельефа, приводящая к перераспределению стока в разветвлениях русла и даже к смене его морфодинамического типа русла (Якутский водный узел и русло от Кангаласского Камня ниже г. Якутска и до устья Алдана на средней Лене, где сопряженные, чередующиеся разветвления и прямолинейное русло с односторонними разветвлениями при развитии в нем островов трансформировалось и местами еще продолжает преобразовываться в параллельно-рукавные многоостровные). В то же время процессы термоэрозии приводят к высоким скоростям разрушения берегов и островов и усилению переформированию русла в плане.

На Оби неустойчивым и слабоустойчивым является русло в верхнем течении ниже слияния Бии и Катунь, где имеет место переход от горно-предгорной области к равнинной территории юго-востока Западно-

Сибирской низменности. Вниз по течению устойчивость несколько повышается, но после слияния с Чарышом река подмывает сложенное лессовидными суглинками Приобское степное плато, в реку поступает очень мелкий материал, и русло становится снова неустойчивым. Ниже в еще верхнем и почти всем среднем течении русло слабо- и относительно устойчивое вследствие постепенного уменьшения уклонов по мере роста водности реки при малой изменчивости крупности руслообразующих наносов, и оно становится устойчивым в нижнем течении, где преобладают уже песчано-илистые наносы. Аналогичная картина наблюдается на Северной Двине, русло которой слабоустойчивое от слияния Сухоны и Юга до устья Ваги и ниже лишь местами на широкопойменных небольших участках до устья р. Емцы, но во всем нижнем течении (особенно ниже устья р. Емцы) становится устойчивым (оно здесь врезанное, даже на участках раздвоенного русла ниже слияния с р. Пинегой).

Исследования русловых процессов на реках России конца 1990-х–2000-е гг. дали возможность составить карту по устойчивости русел, существенно корректирующую и дополняющую уже имеющуюся [Лодина, 1997] карту районирования территории бывшего СССР, с выделением русел больших и крупнейших рек (см. рис.1). Обобщенные сведения о значениях числа Лохтина на реках России приведены в таблице 2.

Наименьшей устойчивостью характеризуются реки юга лесной, лесостепной и степной зон ЕТР и Западной Сибири, где в свободных условиях русловые деформации ярко выражены, проявляясь в интенсивных размывах берегов и русловых переформированиях К слабоустойчивым относятся русло нижней Волги, притоки Дона, Ока в среднем и нижнем течении. На Севере ЕТР слабоустойчивыми являются русла среднего течения Северной Двины (между устьями Вычегды и Ваги) и Вычегда, нижнее течение Печоры. В Западной Сибири таковой является Обь от слияния Бии и Катунь до Новосибирского гидроузла, ее левые притоки, среднее и нижнее течение Надыма, Пура, Таза, реки Гыданского полуострова и Ямала. У этих рек число Лохтина - от 2 до 5.

Таблица 2

Значения числа Лохтина Л для рек России и их участков

Участок	Л	Характеристика устойчивости русла
Лена		
исток – г. Киренск	50-18	устойчивое
устье р. Киренги – устье р. Витима	20-40	устойчивое
устье р. Витима – г. Олекминск	15-30	устойчивое
г. Олекминск – г. Покровск	14-20	устойчивое
г. Покровск – устье р. Алдана	2,8-7,0	слабоустойчивое и относительно устойчивое
устье р. Алдана – устье р. Вилюя	3,3-10,5	слабоустойчивое и относительно устойчивое
устье р. Вилюя – п. Жиганск	2,1-7,9	неустойчивое, слабоустойчивое и относительно устойчивое
п. Жиганск – дельта	12-20	устойчивое
Обь		
слияние Бии и Катунь – г. Барнаул	1,7-11,0	неустойчивое, слабоустойчивое и относительно устойчивое
г. Барнаул - Новосибирское водохранилище	3,2-12,0	слабоустойчивое, относительно устойчивое и устойчивое
г. Новосибирск – устье р. Томи	6,5-13,0	относительно устойчивое и устойчивое
устье р. Томи – устье р. Вах	6,7-8,2	относительно устойчивое
устье р. Вах – слияние с р. Иртышом	9,1	относительно устойчивое
нижняя Обь до п. Перегрёбного	9,7	относительно устойчивое
Горная Обь	8,4	относительно устойчивое
Малая Обь от протоки Бол. Нюрик до устья	6,6	относительно устойчивое
Большая Обь	5,6-38,6	относительно устойчивое и устойчивое
слияние Малой и Большой Оби - г. Салехард	7,1	относительно устойчивое
Иртыш		
госграница - г. Омск	4,0-31,5	слабоустойчивое, относительно устойчивое и устойчивое
г. Омск – устье р. Тобола	11-12	устойчивое
устье р. Тобола – устье р. Демьянки	8,7	относительно устойчивое
устье р. Демьянки – устье р. Конды	9,6	относительно устойчивое
устье р. Конды – слияние с р. Обью	10,1	устойчивое
Волга		
нижнее течение (ниже г. Волгограда)	2,5-3,0	слабоустойчивое

Ока		
верхнее течение	6,7	относительно устойчивое
среднее течение	2,6	слабоустойчивое
нижнее течение	4,5	слабоустойчивое
Дон		
среднее течение	3,0-6,0	слабоустойчивое и относительно устойчивое
нижнее течение	3,0-6,0	слабоустойчивое и относительно устойчивое
Терек		
нижнее течение	0,5-0,7	неустойчивое
Вычегда		
нижнее течение (устье р. Сысолы – устье)	3,0-6,6	слабоустойчивое и относительно устойчивое
Печора		
среднее течение	8,0	относительно устойчивое
нижнее течение	3,5	слабоустойчивое
Кама		
среднее течение	6,7	относительно устойчивое
Северная Двина		
слияние с р. Вычегдой – устье р. Ваги	2,8-3,5	слабоустойчивое
устье р. Ваги – г. Архангельск	6,3-8,7	относительно устойчивое
Амур		
нижнее течение	4-12	слабоустойчивое, относительно устойчивое и устойчивое
верхнее течение	70-90	устойчивое
среднее течение	30-50	устойчивое
Индигоирка		
среднее течение	16	устойчивое
Колыма		
среднее течение	12-15	устойчивое
Енисей		
среднее и нижнее течение	25-30	устойчивое
Алдан		
среднее течение	45	устойчивое
нижнее течение	7,5	относительно устойчивое
Виллой		
верхнее течение	37-50	устойчивое
нижнее течение	2,5-8,6	относительно устойчивое
Ангара		
вся река	20-25	устойчивое

Достаточно редко встречаются реки с неустойчивым руслом. В пределах России к таковым относятся только нижнее течение Терека и отдельные участки верхней Оби от слияния Бии и Катунь до г. Барнаула.

Относительно устойчивые русла реки с числом Лохтина в диапазоне от 5 до 15 имеет большинство рек ЕТР и многие реки Западной Сибири. Реки Восточной Сибири и Дальнего Востока характеризуются высокой устойчивостью, кроме больших и крупнейших рек Лены (широкопойменное русло от г. Покровска до п. Жиганска) и Амура (в нижней части среднего и в нижнем течении), Яны, Индигоирки, Колымы, Анадыря, Пенжины, имеющих протяженные участки со слабоустойчивым руслом. Устойчивым и абсолютно устойчивым руслом обладают реки Урала, горных частей Алтая, Кольского полуострова, где большая крупность аллювия и врезанное русло обуславливает очень высокие значения числа Лохтина (свыше 30-50).

Реки бассейна Енисея, включая сам Енисей, имеют галечно-валунные русла (кроме самых низовьев – ниже г. Игарки) с частыми выходами на дне скальных пород, образующих Казачинские и другие пороги и шиверы и отличаются устойчивым руслом. В бассейне Лены устойчивые русла характерны для правобережных притоков (за исключением низовьев Алдана, среднего и нижнего течения Киренги) и самой Лены от устья р. Куты почти до г. Покровска, где также нередко встречаются порожистые участки, создающие в межень подобие водосливов с широким порогом (Хатынг-Тумул, Плитка и др.). Виллой в среднем, частично в нижнем течении относительно устойчив; выше слияния с р. Мархой русло становится галечным, его устойчивость существенно возрастает ($L > 70$). В Забайкалье и Прибайкалье реки характеризуются устойчивым руслом, особенно в их верховьях (исключение составляет нижнее течение Селенги – $L = 2-5$). Очень высокой устойчивостью обладают также русла Яны и Колымы в верхнем течении, где преобладает

галечные и галечно-валунные наносы. Высокая устойчивость характерна для рек бассейна Охотского моря и Корякского нагорья, за исключением Пенжины и некоторых рек Камчатки, среди последних – формирующихся в рыхлых вулканогенных отложениях.

Выводы. Полученные с применением картографического метода данные о пространственной изменчивости устойчивости русел рек малых и средних по схеме районирования территории России и больших и крупнейших рек по всей их длине позволяет выявить вполне определенные географические закономерности их деформируемости, что в первом приближении позволяет учитывать русловые процессы при решении вопросов освоения рек и приречных территорий.

Библиографический список

1. Лодина Р.В. Региональные закономерности устойчивости русел рек России // Геоморфология. 1997. № 3. С. 149-148.
2. Лохтин В.М. О механизме речного русла. СПб. 1897. (Вопросы гидротехники свободных рек. М.: Речиздат. 1948. С. 23-59.
3. Львович М.И. Опыт классификации рек России // Тр. ГГИ. Вып. 6. 1938. С. 58-105.
4. Магрицкий Д.В. Факторы и закономерности многолетних изменений стока воды, взвешенных наносов и теплоты нижней лены и Вилюя // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2015. № 6. С. 85-95.
5. Маккавеев Н.И. Русловой режим рек и трассирование прорезей. М.: Речиздат. 1949. 202 с.
6. Проектирование судовых ходов на свободных реках / Тр. ЦНИИЭВТ. Вып. 36. 1964. 262 с.
7. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 1. Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: Изд-во ЛКИ. 2008. 608 с.

© Чалов Р.С., Голубцов Г.Б., 2026

УДК: 631.587(575.1)

Э.И. Чембарисов

доктор географических наук, профессор,
Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем
(НИИИВП), главный научный сотрудник,
г. Ташкент, Узбекистан, echembar@mail.ru

А.И. Баллиев

доктор философии географических наук (PhD),
Международный центр стратегических разработок
исследований в области продовольствия и сельского
хозяйства при Министерстве сельского хозяйства
Республики Узбекистан I-SCAD, старший научный сотрудник,
ajok90@mail.ru

Г.Б. Реймова

докторант философии (PhD),
Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем
(НИИИВП), г. Ташкент, Узбекистан,
guljamalreymova25@gmail.com

АНАЛИЗ МНОГОЛЕТНЕЙ ДИНАМИКИ ВОДНО-СОЛЕВОГО БАЛАНСА И ПЛОЩАДИ ЗАСОЛЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ТАХТАКУПЫРСКОГО РАЙОНА КАРАКАЛПАКСТАНА

Аннотация. В работе проведен комплексный анализ мелиоративного состояния орошаемых земель Тахтакупырского района за период 2001–2024 гг. На основании данных водно-солевого баланса выявлена динамика перехода почвенных процессов от фазы активной аккумуляции солей к фазе их постепенного выноса. Установлено, что к 2024 году впервые зафиксирован значительный отрицательный солевой баланс (–61,757 тыс. тн), что коррелирует с качественным улучшением структуры земельного фонда. Анализ распределения площадей по степени засоленности показал рост доли незасоленных земель с 16,08% в 2010 году до 38,98% в 2024 году, а также сокращение площадей сильнозасоленных участков более чем в три раза. Результаты исследования подтверждают эффективность реализуемых мелиоративных мероприятий и позволяют рекомендовать переход к технологиям прецизионного орошения для закрепления достигнутых результатов.

Ключевые слова: Тахтакупырский район, орошаемое земледелие, мелиоративное состояние, водно-солевой баланс, засоление почв, дренажный сток, минерализация вод, рассоление земель, мониторинг почв

ANALYSIS OF THE LONG-TERM DYNAMICS OF THE WATER-SALT BALANCE AND THE AREA OF SALINIZED LANDS IN THE TAKHTAKUPYR DISTRICT OF KARAKALPAKSTAN

Abstract

The paper presents a comprehensive analysis of the reclamation status of irrigated lands in the Takhtakupyr district for the period 2001–2024. Based on water-salt balance data, the dynamics of soil process transition from the phase of active salt accumulation to the phase of gradual leaching were identified. It was established that in 2024, a significant negative salt balance (–61.757 thousand tons) was recorded for the first time, which correlates with a qualitative improvement in the land fund structure. Analysis of area distribution by salinity degree showed an increase in the share of non-saline lands from 16.08% in 2010 to 38.98% in 2024, as well as a more than three-fold reduction in highly saline areas. The research results confirm the effectiveness of the ongoing reclamation measures and allow recommending a transition to precision irrigation technologies to consolidate the achieved results.

Keywords: Takhtakupyr district, irrigated agriculture, land reclamation status, water-salt balance, soil salinization, drainage flow, water mineralization, land desalinization, soil monitoring

Введение.

В условиях глобального изменения климата и нарастающего дефицита водных ресурсов в Центральной Азии, сохранение плодородия орошаемых земель становится вопросом продовольственной безопасности. Тахтакупырский район, расположенный в зоне низовьев Амударьи, характеризуется сложными гидрогеологическими условиями и высокой уязвимостью почвенного покрова к вторичному засолению. Эффективное управление мелиоративным состоянием земель в данном регионе требует глубокого анализа многолетней динамики водно-солевого баланса.

Процессы соленакопления в аридных зонах напрямую зависят от качества оросительной воды, эффективности дренажных систем и интенсивности испарения. Несмотря на принимаемые меры по реконструкции коллекторно-дренажных сетей, нестабильность речного стока и колебания минерализации подаваемой воды создают риски деградации почв. Для разработки адаптивных агротехнических мер необходим мониторинг изменений, происходящих в структуре земельного фонда в долгосрочной перспективе [1-6].

Всё вышеизложенное показывает актуальность проведенных исследований.

Цель исследования заключается в оценке трансформации мелиоративного состояния орошаемых земель Тахтакупырского района на основе анализа водно-солевого режима и динамики площадей различной степени засоленности за период 2001–2024 гг.

Объект исследования – массив орошаемых земель Тахтакупырского района, его водно-солевой баланс, а также солевой режим почвогрунтов в пределах исследуемой территории.

Методы исследования. Работа базируется на статистическом анализе данных натурных наблюдений, методах сопоставления водно-солевых балансов и мониторинге качественного состояния почв с использованием данных мелиоративных экспедиций [Чембарисов и др., 2022; Чембарисов и др., 2025].

В статье проведен анализ данных по водно-солевому балансу орошаемых земель районы за период с 2001 по 2024 гг, представленные в табличной форме. Таблицы содержат информацию о суммарном водозаборе на орошение, объеме дренажно-сбросных вод, их минерализации, выносе солей и изменении количества солей за год. Также предоставлены данные по общей орошаемой площади и распределению земель по степени засоленности (незасоленные, слабо-, средне-, сильно- и очень сильно засоленные) с 2010 по 2024 гг.

Краткие сведения о районе. Тахтакупырский район – административная единица в северо-восточной части Республики Каракалпакстан. Район граничит с Казахстаном, имеет население около 39,8 тыс. человек (на октябрь 2024 г.), характеризуется резко континентальным климатом и развитым сельским хозяйством, орошаемым каналом «Куўаныш Жарма» [6].

Район расположен в северо-восточной части Каракалпакстана. Лето здесь очень жаркое, зима холодная, погода переменчивая. На территории находится озеро Каратерен.

Основой экономики является сельское хозяйство. Водоснабжение осуществляется из канала «Куўаныш Жарма», а также через каналы Ибраим узек, Тымпый, Боз жап, Жылўан и Бадрак.

Район граничит с Караузякским районом на западе, Муйнакским районом на западе, Республикой Казахстан на востоке, Элликалинским районом на юге и Брунийским районом на востоке (рис. 1).

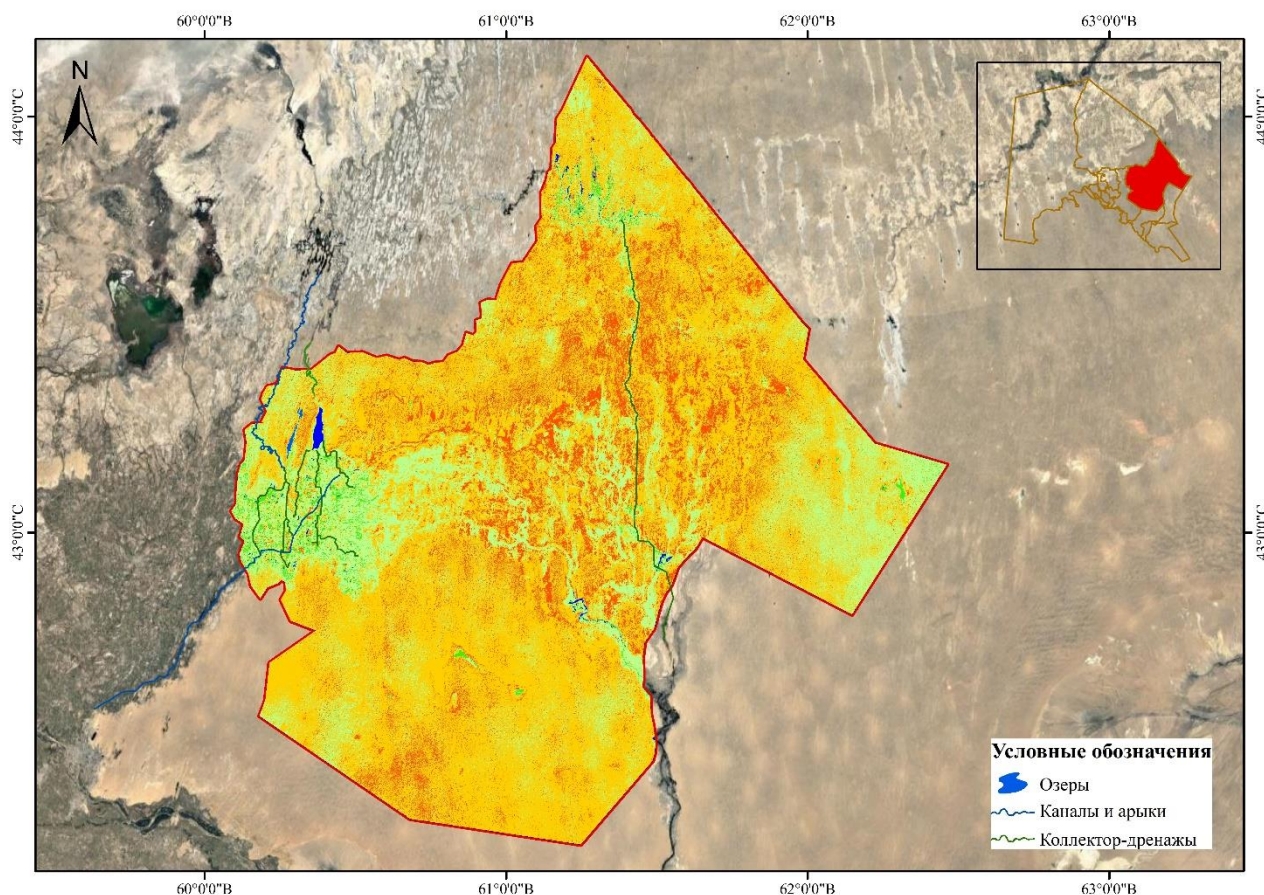


Рис. 1. Территория Тахтакуырского района

Домохозяйства района получают воду из канала «Кууаныш Жарма». Из этого канала по фермам распространяется вода каналов Ибраим узек, Тымпый, Боз жап, жылуан и Бадрак.

Таблица 1

Оценка водно-солевого баланса орошаемых земель Тахтакуырского района за 2001–2024 гг.
(составлена авторами по данным мелиоративной экспедиции)

Анализ динамики водно-солевого баланса. Проведенный системный анализ водно-солевого баланса орошаемых земель позволяет выявить особенности водно-солевого режима мелиорируемых земель и обосновать необходимые мелиоративные мероприятия (табл. 1).

Представленные данные показывают динамику поступления и выноса солей орошаемых земель. Например, в 2003 г. поступление солей составило 434,09 тыс.тн, а вынос - 642,70 тыс.тн, что привело к уменьшению количества солей на 208,604 тыс.тн, в то время как в 2009 г. наблюдалось положительное изменение количества солей (накопление) на 201,144 тыс. т.

Динамика водно-солевого баланса за период 2001–2024 гг. демонстрирует прямую зависимость между объемами водозабора и накоплением солей в почве.

Тенденция соленакопления. В течение большей части исследуемого периода (2001–2021 гг.) наблюдался положительный солевой баланс (графа «Изменение кол/во солей»). Это означает, что количество приносимых с поливной водой солей существенно превышало их вынос дренажными водами. Пиковые значения накопления зафиксированы в многоводные годы, например, в 2003 году (+519.04 тыс. т).

Минерализация оросительной воды варьируется в пределах 0.69–1.42 г/л, что требует строгого контроля мелиоративного состояния. При этом минерализация дренажно-сбросных вод значительно выше (до 4.15 г/л в 2001 г.), что свидетельствует о процессе выщелачивания солей из почвогрунтов [Балиев. 2025].

Положительная динамика последних лет. В 2022 и 2024 годах впервые отмечен отрицательный солевой баланс (-4.11 и -61.757 тыс. т соответственно). Это указывает на преобладание выноса солей над их приходом, что является признаком улучшения мелиоративной ситуации или повышения эффективности работы дренажных систем.

Анализ динамики засоления площадей.

Данные о распределении земель по степени засоленности за 2010–2024 гг. подтверждают постепенное улучшение качества почв.

Рост незасоленных земель. Наблюдается устойчивая тенденция увеличения площади незасоленных почв. Если в 2010 году они составляли всего 16.08% (5.57 тыс. га), то к 2024 году их доля выросла до 38.98% (13.516 тыс. га) (Табл. 2).

Таблица 2

ГОДЫ	Приходная часть		Поступления солей (тыс.тн)	Расходная часть		Вынос солей, тыс.тонн	Изменение кол/во солей, тыс.тн
	суммарный водозабор на орошение, млн.м ³	минерализация оросительной воды, в гр/л		сток дренаж. сбросных вод, млн.м ³	минерализац ия дренажно- сбросных вод, гр/л		
2001	58.90	1.42	83.64	1.90	4.15	7.89	75.75
2002	426.53	0.98	418.85	44.90	1.92	85.98	332.87
2003	690.96	1.08	745.55	109.90	2.06	226.50	519.04
2004	464.54	1.04	481.73	112.10	2.35	263.32	218.41
2005	570.77	0.99	563.35	121.90	1.90	231.37	331.98
2006	488.49	1.09	533.43	134.50	2.02	271.56	261.88
2007	449.59	1.05	473.87	86.00	2.71	232.63	241.24
2008	124.86	1.23	153.33	31.40	3.36	105.35	47.98
2009	434.76	1.09	473.89	42.70	2.52	107.43	366.46
2010	610.30	0.90	550.49	198.10	1.99	393.43	157.06
2011	278.80	1.09	304.17	69.70	2.54	176.76	127.41
2012	493.90	1.02	503.28	193.90	2.30	446.16	57.12
2013	388.00	1.03	400.03	135.50	2.27	308.13	91.90
2014	364.60	1.02	372.99	83.30	2.72	226.33	146.66
2015	507.14	1.00	505.11	152.80	2.22	339.37	165.74
2016	426.00	1.04	442.19	89.30	2.59	231.38	210.81
2017	542.27	1.07	579.69	110.60	2.28	252.61	327.08
2018	212.00	1.18	250.80	57.49	3.15	181.04	69.76
2019	427.54	0.95	406.16	106.92	2.45	261.42	144.74
2020	254.73	1.14	289.88	59.83	3.15	188.40	101.48
2021	261.36	1.15	300.56	76.25	3.08	234.62	65.94
2022	320.90	0.69	219.82	75.60	2.96	223.93	-4.11
2023	427.08	1.24	527.82	132.28	2.98	394.31	133.50
2024	316.72	0.786	248.942	117.6	2.642	310.699	-61.75

Многолетняя динамика в различной степени засоленных площадей орошаемых земель
Тахтакупырского района

ГОДЫ	Общая орошаемая площадь, тыс. га	В том числе по степени засоленности, га							
		незасоленные		слабозасоленные		среднезасоленные		сильно и очень сильно засоленные	
		тыс.га	%	тыс.га	%	тыс.га	%	тыс.га	%
2010	34.65	5,57	16.08	12,30	35.50	13,34	38.50	3,44	9.93
2011	34.65	6.96	20.09	13.80	39.83	10.71	30.91	3.18	9.18
2012	34.65	6.96	20.09	13.80	39.83	10.71	30.91	3.18	9.18
2013	34.65	6.96	20.09	13.80	39.83	10.71	30.91	3.18	9.18
2014	34.65	7.21	20.82	14.13	40.78	10.25	29.58	3.06	8.83
2015	34.65	7.21	20.82	14.13	40.78	10.25	29.58	3.06	8.83
2016	34.65	7.21	20.82	14.13	40.78	10.25	29.58	3.06	8.83
2017	34.65	12.62	36.41	13.38	38.60	6.49	18.72	2.17	6.27
2018	34.65	12.62	36.41	13.38	38.60	6.49	18.72	2.17	6.27

2019	34.65	12.62	36.41	13.38	38.60	6.49	18.72	2.17	6.27
2020	34.65	11.36	32.80	13.10	37.80	8.91	25.72	1.28	3.69
2021	34.67	11.36	32.78	13.10	37.77	8.93	25.76	1.28	3.69
2022	34.67	11.36	32.78	13.10	37.77	8.93	25.76	1.28	3.69
2023	34.67	13.52	38.98	12.97	37.40	7.12	20.52	1.07	3.09
2024	34.672	13.516	38.98	12.967	37.40	7.116	20.52	1.073	3.09

Сокращение сильнозасоленных участков: площадь сильно и очень сильно засоленных земель сократилась более чем в три раза – с 9.93% в 2010 году до 3.09% в 2024 году.

Стабилизация средnezасоленных земель: площадь средnezасоленных земель также имеет тенденцию к снижению (с 38.50% до 20.52%), что свидетельствует о переходе почв из категории «средnezасоленных» в «слабозасоленные» и «незасоленные» в результате мелиоративных мероприятий.

Практические рекомендации. На основе выявленных тенденций (переход к отрицательному солевому балансу и рост доли незасоленных земель), для закрепления и улучшения достигнутых результатов в Тахтакупырском районе рекомендуются следующие мелиоративные меры:

- оптимизация дренажной системы и регулярная очистка коллекторно-дренажной сети (КДС) а также поддержание проектной глубины коллекторов для обеспечения стабильного оттока минерализованных грунтовых вод;

- внедрение водосберегающих технологий: переход на капельное орошение или дискретный полив позволит снизить объем подаваемой воды (и, соответственно, объем приносимых солей), сохраняя при этом промывной режим почвы.

- соблюдение норм промывки: в годы с высоким риском накопления солей проводить зимне-весенние влагозарядковые и промывные поливы на фоне работающего дренажа.

Дифференцированный подход к площадям:

- для средnezасоленных земель (20.52% на 2024 г.): проведение капитальной планировки чеков для предотвращения локальных зон накопления солей.

- для сильнозасоленных земель (3.09%): применение химической мелиорации (гипсование) и посев солеустойчивых культур-освоителей (например, солодки или люцерны) для биологического дренажа.

Проведение агротехнических мероприятий, а также посадка лесополос вдоль каналов для снижения уровня грунтовых вод за счет транспирации.

Мульчирование почвы: применение растительных остатков для снижения физического испарения с поверхности почвы, что предотвращает подтягивание солей из нижних горизонтов в корнеобитаемый слой.

Выводы:

- анализ составленных авторами двух таблиц позволяет сделать вывод о постепенном оздоровлении мелиоративного состояния земель Тахтакупырского района. Несмотря на то, что в отдельные годы (особенно в начале 2000-х) доминировали процессы соленакопления, к 2024 году удалось достичь отрицательного солевого баланса, способствующего рассолению;

- в процессе проведенных мероприятий по улучшению мелиоративных состояния орошаемых земель удалось увеличить долю незасоленных земель в структуре орошаемого фонда более чем в 2 раза.

Библиографический список

1. Указ Президента Республики Узбекистан, от 10.07.2020 г. № УП-6024 «Об утверждении концепции развития водного хозяйства Республики Узбекистан на 2020–2030 годы» <https://lex.uz/docs/4892953>
2. Баллиев А.И. Современные проблемы трансграничной реки Амударья / Материалы международной научно-практической конференции «Современная наука: вызовы, проблемы, решения – взгляды молодежи». - Биробиджан, 2023. - С.921-926.
3. Чембарисов Э.И., Хожамуратова Р.Т., Садиев У.А., Баллиев А.И., Реймова Г.Б. Особенности гидрологического и мелиоративного мониторинга орошаемой территории Республика Каракалпакстан. Монография. - Ташкент: «Lesson press», 2022. - 176 с.
4. Чембарисов Э.И., Баллиев А.И. Общая характеристика залегания грунтовых вод орошаемой зоны Республики Каракалпакстан// Вестник мелиоративной науки №2 г.о. Коломна, 2025. - С.42-51.
5. <https://gov.uz/ru/suvchihttps://taxtakopir.uz/ru/%D1%80%D0%B0%D0%B9%D0%BE%D0%BD%D2%9B%D1%8B%D1%81%D2%9B%D0%B0%D1%88%D0%B0-%D0%BC%D0%B0%D2%93%D0%BB%D1%8B%D1%9E%D0%BC%D0%B0%D1%82>

© Чембарисов Э.И., Баллиев А.И., Реймова Г.Б., 2026

СЕКЦИЯ 1. ГЕОЛОГИЯ И ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ НЕДР: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

УДК 501.55

Ю.М. Андриянова

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

Научный руководитель: **Е.А. Машкова**

к. п. н., доцент кафедры геологии,

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

ГЕОЛОГИЯ И НЕФТЕНОСНОСТЬ КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ КРАЕВОЙ ЧАСТИ БАШКИРСКОГО СВОДА

Аннотация. В статье автор рассматривает геологию и нефтеносность карбонатных отложений северо-западной краевой части Башкирского свода

Ключевые слова. Башкирский свод, карбонатные отложения, фаменский ярус, нефтеносность.

GEOLOGY AND OIL POTENTIAL OF CARBONATE DEPOSITS OF THE NORTHWESTERN MARGINAL PART OF THE BASHKIR ARCH

Annotation. In this article, the author examines the geology and oil potential of carbonate deposits in the northwestern marginal part of the Bashkir arch.

Keywords. Bashkir arch, carbonate deposits, Famennian stage, oil potential

В пределах Волго-Уральской нефтегазоносной провинции особое место занимает Башкирский свод – крупная положительная структура в фундаменте Восточно-Европейской платформы в пределах которой находятся большое количество нефтяных месторождений. Северо-западная краевая часть Башкирского свода – это территория, которая включает северо-западный склон свода, прилегающую часть Верхне-Камской впадины и прилегающие районы.

В региональном тектоническом плане рассматриваемая площадь приурочена к северо-западной краевой части Башкирского свода Волжско-Камской антеклизы.

Осадочный платформенный чехол участка сложен отложениями девонской, каменноугольной, пермской и четвертичной систем, залегающими на осадках шкаповской серии вендской системы.

Литолого-петрографическая характеристика стратиграфических подразделений выполнена по материалам структурного, поисково-оценочного и разведочного бурения в соответствии с «Обобщенной схемой расчленения геологического разреза Республики Башкортостан». Нефтеносность карбонатных отложений Башкирского свода доказана результатами бурения как в пределах участка, так и на соседних площадях.

В пределах рассматриваемого нами лицензионного участка выделяются три положительные структуры Качакская, Турайская и Бронеславская.

Для изучения нефтеносности этих структур и оценки запасов было произведено строительство трех независимых поисково-оценочных скважин. Все скважины закладывались в сводовой части подготовленной структуры и вскрывали отложения нижнефаменского подъяруса и терригенных отложениях тульского горизонта нижнего карбона. Была проведена оценка запасов по категориям С1 и С2, что является обязательной частью работы с геологической информацией (Машкова 2019)

Обработка и анализ полученной геолого-геофизической информации этих скважин доказал, что наибольший интерес в нефтегазоносном отношении представляют карбонатные отложения верхнего девона (фаменский ярус) и нижнего карбона.

Девонская система представлена верхнедевонским отделом, фаменским ярусом, нижнефаменским, среднефаменским и верхнефаменским подъярусом.

Нижнефаменский подъярус (D3 fm1) сложен известняками и доломитами. Известняки серые, светло-серые, прослоями белые, мелоподобные, органогенно-обломочные, кальцитизированные, доломитизированные, с включениями ангидрита. Доломиты светло-серые, серые, плотные, крепкие, окремненные, неравномерно кавернозные, с включениями ангидрита и известняков белых мелоподобных, густково-комковатых.

В пределах подъяруса снизу-вверх выделяются пласты D3fm1.5, D3fm1.4, D3fm1.3, D3fm1.2 и D3fm1.1, сложенные органогенными известняками. Пласт D3fm1.5, залегающий в нижней части подъяруса,

развит не повсеместно. Нефтеносность этого пласта на ближайших месторождениях не установлена. Вышезалегающие пласты нижнефаменского подъяруса продуктивны на ближайших месторождениях.

Среднефаменский подъярус (D3 fm2) представлен преимущественно известняками светло-серыми, серыми и коричневатато-серыми, тонкокристаллическими и кристаллическими, органогенными, доломитизированными, сульфатизированными, плотными, крепкими, часто со стилолитовыми швами, выполненными глинистым материалом. Доломиты серые, кристаллические, известковистые.

Кровля подъяруса часто сложена сильно глинистыми известняками и известна под названием репера «фаменского».

К кровле среднефаменского подъяруса приурочена ОГ «D3fm2».

Верхнефаменский подъярус (D3 fm3) представлен Заволжским надгоризонтом (D3zv). Сложен известняками светло-серыми и серыми, тонкокристаллическими, участками органогенно-обломочными, плотными, крепкими, неравномерно глинистыми, доломитизированными, с включениями ангидрита. (рис. 1)

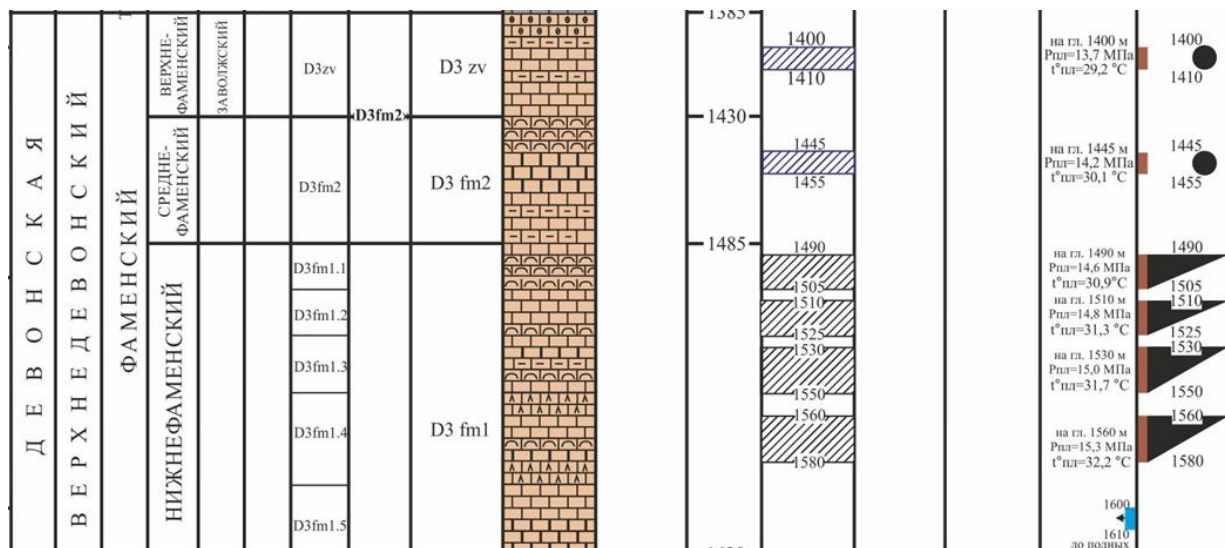


Рис. 1. Стратиграфическая колонка фаменского яруса (Уфа: БашНИПИнефть)

Каменноугольная система представлена турнейским ярусом, верхнетурнейским подъярусом, кизеловским горизонтом (C1ksl). Сложен известняками серыми, темно-серыми, кристаллическими, прослоями пелитоморфными, органогенно-обломочными, сгустковыми, слоистыми, глинистыми, плотными, крепкими, слабо пористыми, прослоями кавернозно-пористыми, со стилолитовыми швами, выполненными глинистым материалом. К кровле кизеловского горизонта приурочена ОГ «C1t_ksl».

Каменноугольная система представлена визейским ярусом, верхневизейским подъярусом, окским надгоризонтом, тульским горизонтом (C1tl). В нижней (терригенной) части разреза сложен переслаиванием алевролитов, аргиллитов и песчаников, а известняки образуют единичные маломощные прослои, между верхней и средней песчано-алевролитовыми пачками.

Средняя песчано-алевролитовая пачка представлена тремя пластами песчаников (снизу-вверх): C1tl.6, C1tl.5, C1tl.4. В верхней песчано-алевролитовой пачке выделяется пласт C1tl.2, промышленно нефтеносный на Горьковском месторождении.

Прослой известняков черных, темно-серых, органогенно-обломочных является разделом между основным промышленно-продуктивным пластом C1tl.2 и пластами C1tl.4, C1tl.5, C1tl.6.

Песчаники светло-серые, буровато-серые, кварцевые, в основном, мелко- и среднезернистые, в разной степени алевролитистые и глинистые, часто нефтенасыщенные.

Алевролиты темно-серые, буровато-серые, песчаные, слабослюдистые, в кровле горизонта известковистые.

Аргиллиты темно-серые, участками слюдистые, иногда алевролитистые, слоистые, хрупкие, плотные, с включениями пирита. (рис. 2)

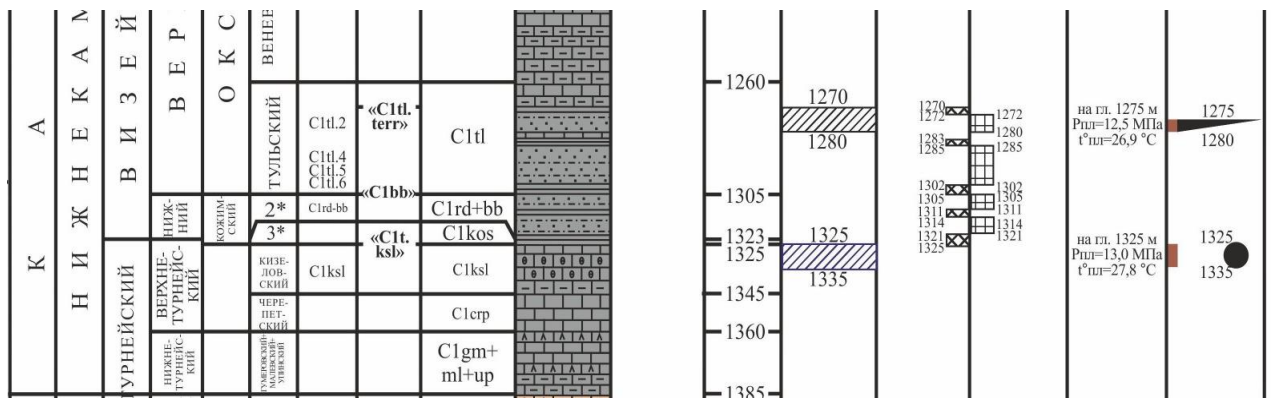


Рис. 2. Стратиграфическая колонка турнейского и визейского ярусов (Уфа: БашНИПИнефть)

Таким образом, северо-западная часть Башкирского свода является перспективным районом для поиска и разведки нефти. Основные продуктивные горизонты связаны с карбонатными отложениями фаменского яруса и породами нижнего карбона. Благоприятное сочетание литолого-петрографических особенностей пород, структурных условий и подтвержденной нефтеносности соседних территорий обуславливает высокую вероятность выявления промышленных залежей. Проведение поисково-оценочного бурения позволит уточнить геологическое строение и дать количественную оценку запасов углеводородов.

Библиографический список

1. Багманова С.В., Степанов А.С. и др. Геология Волго-Уральской нефтегазоносной провинции: учебное пособие. – Оренбург: Оренбург. гос. ун-т, 2019.
2. Машкова Е.А. Подсчет запасов растворенного газа в нефти объемным методом // Сборник тезисов IX МНПК. 2019. С. 149-153.

© Андриянова Ю.М., Машкова Е.А., 2026

УДК: 552.3, 549.08

В.Э. Баширов^{1,3}, А.Р. Ганеева^{2,3}, Д.Е. Савельев³

¹Студент 1 курса магистратуры, Институт природы и человека

²Студент 3 курса бакалавриата, Институт природы и человека

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

³Институт геологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, г. Уфа

Научный руководитель: **А.В. Сначёв,**

К. г.-м. н., Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

Институт геологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, г. Уфа

РЕДКОЗЕМЕЛЬНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В ГРАНИТАХ МАЗАРИНСКОГО МАССИВА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Аннотация. Мазаринский массив (зона Уралтау) включает барангуловский гранит-лейкогранитовый и верхнемазаринский габбро-долеритовый комплексы. Граниты характеризуются умеренной щелочностью. Концентрация редкоземельных элементов в гранитах и габбро в 10–100 раз превышает содержания в хондрите с явным европиевым минимумом, что свидетельствует о глубокой дифференциации расплава и фракционировании плагиоклаза. Были обнаружены редкоземельные минералы, такие как: алланит-(Ce) и РЗЭ-содержащий эпидот, а также монацит-(Ce), вокруг которого эпидот образует корональную структуру, образованную в ходе низкотемпературного метаморфизма. В ходе исследования был обнаружен циркон с высоким содержанием UO₂, по которому развиваются вторичные образования, содержащие иттрий.

Ключевые слова. Зона Уралтау, Мазаринский массив, граниты, РЗЭ, редкоземельные минералы, алланит-(Ce), РЗЭ-содержащий эпидот, монацит-(Ce), циркон.

RARE-EARTH MINERALIZATION IN GRANITES OF THE MAZARA MASSIF (SOUTHERN URALS)

Annotation. The Mazara massif (Uraltau zone) includes the Barangul granite-leucogranite and Mazara gabbro-dolerite complexes. The granites are characterized by moderate alkalinity. The concentration of rare earth elements in the granites and gabbro is 10-100 times higher than that in chondrite, with a clear europium minimum, indicating deep melt differentiation and plagioclase fractionation. Rare earth minerals such as allanite-(Ce) and RZE-bearing epidote, as well as monazite-(Ce), around which epidote forms a coronal structure formed during low-temperature metamorphism, were discovered. The study also revealed zircon with low UO₂ levels, which results in the development of secondary yttrium-bearing formations.

Keywords. Uraltau zone, Mazara massif, granites, REE, rare earth minerals, allanite-(Ce), REE-containing epidote, monazite-(Ce), zircon.

Мазаринский гранитный массив расположен в северной части зоны Уралтау в полосе развития пород суваньянского метаморфического комплекса, представленного преимущественно метаморфизованными осадочными породами – сланцами и кварцитами рифейского возраста. Большая часть гранитного массива сосредоточена в бассейне р. Мазара и имеет форму уплощенной вытянутой в северо-восточном направлении слегка пережатой в центре линзы размером 4×1 км. Непосредственным продолжением его по простиранию на север является Барангуловский габбро-гранитный массив, который в пределах зоны Уралтау является наиболее крупным, как по занимаемой им площади, так и по количеству и масштабу магматических тел (Бажин и др., 2015).

В рассматриваемых массивах выделяются барангуловский гранит-лейкогранитовый (©RF_{3b}) и верхнемазаринский габбро-долеритовый (RF_{3vm}) магматические комплексы. К первому, отнесены тела преимущественно средне-крупнозернистых порфиридовидных гранитоидов, слагающих часть Барангуловского массива, а также главное тело Мазаринского массива. Породы второго слагают основной объём Барангуловского массива и ряд мелких тел поблизости от Мазаринской гранитоидной интрузии (Мосейчук и др., 2010). Особенностью Мазаринского гранитного массива является его однородный гранитный состав и пространственная разобщённость с габброидными породами, которые расположены к западу от Мазаринского массива, образуя параллельную ему полосу дайковых тел размерами 50×500 м. Интрузивные породы комплексов образуют полосу северо-восточного простирания протяженностью около 25 км при ширине до 5 км. Барангуловский габбро-гранитный и Мазаринский гранитный интрузивные массивы датируются как докембрийские (Барангуловский – 728 ± 8 – 723 ± 10 млн. лет (Пучков и др., 2007; Краснобаев и др., 2007); Мазаринский 746.6 ± 24.3 – 709.1 ± 5.2 млн лет (Краснобаев и др., 2015). Лейкокраповые грейзенизированные граниты расположенные в восточной эндоконтактной зоне Барангуловского массива обладают перспективами на редкометалльные элементы (Сначёв и др., 2012).

Петрографический состав гранитов Мазаринского массива характерен для типичных умереннощелочных гранитов (сумма щелочей – 8,3%) (Краснощекова, 2012): олигоклаз (плаггиоклаз) – 30-40%, микроклин (КПШ) – 20-45%, кварц – 30-40%, слюды (мусковит, биотит, серицит) – 10-14%. Среди аксессуарных минералов отмечаются: рутил – 1%, эпидот – 1%, минералы редкоземельных элементов. Граниты барангуловского комплекса принадлежат к анорогенному типу (А-тип), характерному для внутриплитных и рифтогенных обстановок (Бажин и др., 2015).

Распределение редкоземельных элементов в гранитах Мазаринского массива (нейтронно-активационный метод, ГЕОХИ, аналитик Д.Ю. Сапожников) имеет однотипный характер кривых нормированных к хондриту (McDonough, Sun, 1995). Концентрация РЗЭ в габбро и гранитах выше хондрита в 10-100 раз с преимущественным накоплением лёгких РЗЭ относительно тяжёлых и имеют отчётливый европиевый минимум (рис. 1г), что свидетельствует о глубокой дифференциации расплава и фракционировании плаггиоклаза (Taylor, McLennan, 1985).

По результатам электронно-микроскопического изучения гранитов, среди редкоземельных минералов были выделены 3 разновидности: монацит-(Ce), алланит-(Ce) и РЗЭ-содержащий эпидот.

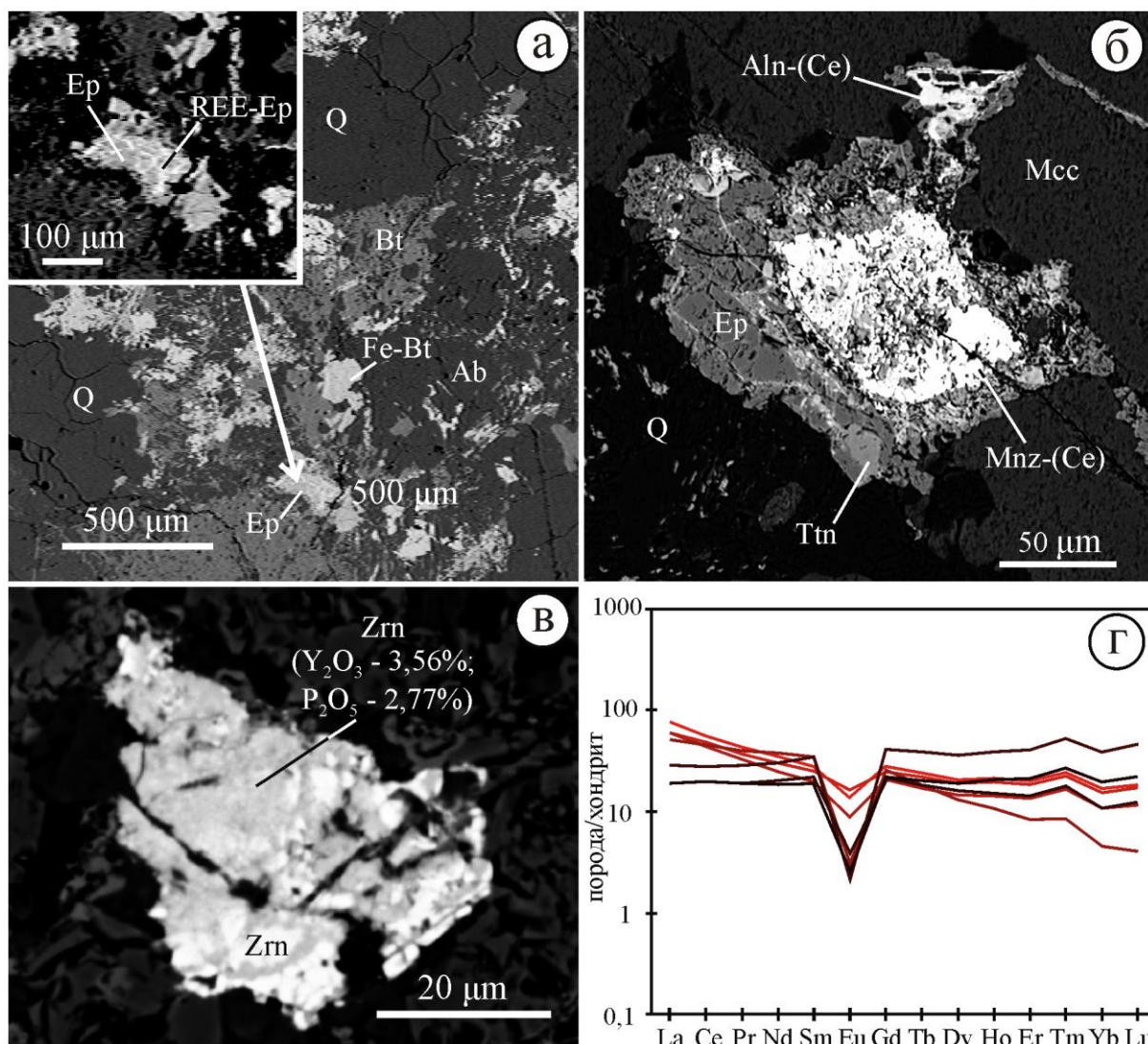


Рис. 1. Электронно-микроскопические изображения редкоземельных минералов (а – P3Э-эпидот в ассоциации с эпидотом; б – монацит-(Ce) с корональной структурой; в – сильноизмененный циркон) и нормированное к хондриту (McDonough, Sun, 1995) распределение P3Э в гранитах Мазаринского массива (г)

Примечание: Ab – альбит, Q – кварц, Ttn – титанит, Bt – биотит, Fe-Bt – лепидомелан, Ep – эпидот, REE-Ep – P3Э-содержащий эпидот, Mnz-(Ce) – монацит-(Ce), Aln-(Ce) – алланит-(Ce), Zrn – циркон. Сокращения по Warr (Warr, 2021)

Алланит-(Ce) представлен в виде ксеноморфных выделений размером до 30 мкм в ассоциации с монацитом-(Ce), развитых на границе микроклина и кварца (рис. 1б). По химическому составу алланит относится к цериевой разновидности, поскольку отношение $Ce_2O_3 > (La_2O_3 + Nd_2O_3)$. В составе алланита содержания P3Э (мас. %): Ce_2O_3 – 9,99; La_2O_3 – 4,55; Nd_2O_3 – 3,93; Pr_2O_3 – 1,20 и характеризуется низким содержанием CaO (9,81 мас. %).

Монацит-(Ce) представлен в виде гипидиоморфного зерна размером 100×70 мкм с неровными краями (рис. 1б). Вокруг монацита образована корональная структура, сложенная эпидотом, с развитым в нём микропрожилками сфена, что может свидетельствовать о преобразовании пород в условиях низкотемпературного метаморфизма (Finger et al., 1998; Hentschel et al., 2020). Содержание P3Э в монаците (мас. %): Ce_2O_3 – 30,1; La_2O_3 – 14,23; Nd_2O_3 – 12,28; Pr_2O_3 – 3,41; Sm_2O_3 – 2,26; Gd_2O_3 – 1,39. Также в монаците выделяются повышенные содержания тория и урана (Th_2O_3 – 4,55; UO_2 – 0,58%).

Характерной особенностью редкоземельных минералов в гранитах Мазаринского массива является ассоциация их вместе с эпидотом. Где монацит-(Ce) выделяется как обособленное зерно, а алланит-(Ce) является разновидностью эпидота и образуют тесную ассоциацию с эпидотом. В ряде зерен эпидота, в ходе

перераспределения РЗЭ, развиваются микропрожилки РЗЭ-содержащего эпидота шириной ~5 мкм (рис. 1а). Содержание РЗЭ в них достигает (мас. %): $\text{Ce}_2\text{O}_3 - 2,97$; $\text{La}_2\text{O}_3 - 1,23$; $\text{Nd}_2\text{O}_3 - 0,89$.

Помимо вышеописанных редкоземельных минералов выделяются вторичные иттрий-фосфат содержащие образования по циркону (рис. 1в) с низкой аналитической суммой (Y_2O_3 до 3,56; P_2O_5 до 2,77 мас. %), что не позволяет выделить эти образования как отдельную минеральную форму. Для цирконов Мазаринского массива характерны высокие значения UO_2 (от 0,36 – 1,07; со средним значением – 0,68 мас. %).

Таким образом в результате изучения гранитов Мазаринского массива стало известно, что граниты характеризуются умеренной щелочностью. Концентрация редкоземельных элементов в гранитах и габбро в 10–100 раз превышает содержания в хондрите с явным европиевым минимумом, что свидетельствует о фракционировании плагиоклаза при глубокой дифференциации расплава. Были обнаружены редкоземельные минералы, такие как: алланит-(Ce) и РЗЭ-содержащий эпидот, которые ассоциируют с эпидотом, а также монацит-(Ce), вокруг которого эпидот образует корональную структуру, образованную в ходе низкотемпературного метаморфизма. Для цирконов характерны высокие значения UO_2 (до 1,07 мас. %). Была выявлена иттрий-фосфат содержащее образование по циркону.

Геологические работы осуществлены в рамках государственного задания FMRS-2025-0014 (ИГ УФИЦ РАН, г. Уфа).

Библиографический список

1. Бажин Е.А., Сначев В.И., Сначев А.В., Рыкус М.В. Геология, петрогеохимия и рудоносность гранитоидных массивов Башкирского мегантиклинория и зоны Уралтау. Петербург: Свое издательство. 2015. 208 с.
2. Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н., Ларионов А.Н., Нехорошева А.Г., Бережная Н.Г. Полигенно-полихронная цирконология и проблема возраста барангуловского габбро-гранитного комплекса // Докл. РАН. 2007. Т. 416. № 2. С. 1–6.
3. Краснобаев А.А., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Бушарина С.В. U–Pb (SHRIMP)-возраст цирконов гранитов и субстрата Мазаринского массива (Южный Урал) // Доклады Академии наук. 2015. Т. 463. № 2. С. 206–212.
4. Краснощекова Л.А. Атлас основных типов магматических пород // учебное пособие. Томск: Томский политехнический университет. 2012. С. – 128.
5. Мосейчук В.М., Яркова А.В., Шалагинов А.Э., Коллегов А.К., Кашина Л.В., Рябухина М.Ю., Сапельцева Ю.А. Государственная геологическая карта Российской Федерации м-ба 1:200 000. Издание второе / Ред. В.Н. Пучков. Лист N-40-XVII (Тирлянский). Объяснительная записка, СПб.; Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2010. 337 с.
6. Пучков В.Н., Краснобаев А.А., Козлов В.И., Матуков Д.И., Нехорошева А.Г., Лепехина Е.Н., Сергеев С.А. Предварительные данные о возрастных рубежах нео- и мезо- протерозоя Южного Урала в свете новых U–Pb датировок. Геологический сборник. Уфа: ДизайнПолдиграфСервис. 2007. № 6. С. 3–4.
7. Сначёв В.И., Савельев Д.Е., Сначёв А.В., Бажин Е.А., Ардисламов Ф.Р. Первые находки Ta–Nb минерализации в гранитах западного склона Южного Урала. Доклады академии наук, 2012, том 445, № 4, С. 441–444.
8. Finger F., Broska I., Roberts M. P., Schermaier A. Replacement of primary monazite by apatite-allanite-epidote coronas in an amphibolite facies granite gneiss from the eastern Alps // American Mineralogist. Vol. 83. 1998. P. 248–258.
9. Hentschel F., Janots E., Trepmann C. A., Magnin V., Lanari P. Corona formation around monazite and xenotime during greenschist-facies metamorphism and deformation // Eur. J. Mineral. Vol. 32. 2020. P. 521–544. DOI: 10.5194/ejm-32-521-2020
10. McDonough W. F., Sun S.S. The composition of the Earth // Chemical Geology. 1995. Vol. 120. P. 223–253.
11. Taylor S.R., McLennan S.M. The Continental Crust: its Composition and Evolution. Oxford: Blackwell Scientific Publications. 1985. 312 p.
12. Warr L. IMA–CNMNC approved mineral symbols. Mineralogical Magazine. Vol. 85. Iss. 3. 2021. P. 291–320. DOI: 10.1180/mgm.2021.4

Э.Т. Бикшанова
магистрант,
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа
Научный руководитель: **С.К. Мустафин**
д-р геол.-мин. наук, профессор,
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

РАННЕПЕРМСКИЕ НАУТИЛОИДЕИ МЕСТОНАХОЖДЕНИЯ ШАХТАУ: СИСТЕМАТИКА И ПАЛЕОБИОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ СВЯЗИ

Аннотация: Систематика и палеобиогеографический анализ наутилоидей из ассельско-сакмарского рифа Шахтау. Описаны новые таксоны с уникальной морфологией, адаптированной к условиям рифовой лагуны.

Ключевые слова: наутилоидеи, ранняя пермь, риф Шахтау, палеобиогеография, Южный Урал.

EARLY PERMIAN NAUTILOIDS OF SHAKHTAU LOCATION: SYSTEMATICS AND PALEOBIOGEOGRAPHIC RELATIONSHIPS

Abstract: Systematics and paleobiogeographic analysis of nautiloids from the Asselian-Sakmarian Schachtau reef. New taxa with unique morphology adapted to reef lagoon conditions are described.

Key words: Nautiloidea, Early Permian, Shakhtau Reef, Paleobiogeography, South Ural.

Шахтау, рифовый массив массив ассельского и сакмарского возраста в Южном Приуралье, выступал рефугиумом для реликтовых цефалопод, сохраняя виды из отложений девона и карбона в раннепермскую эпоху. Это обусловлено изолированной средой, в которой доминировали нектобентонические и бентопелагические формы, их комплекс насчитывает 25 видов 21 рода, включая 9 новых родов и 18 видов. Самый богатый комплекс в мире, среди однообразных с ним.

Цель исследования систематизировать коллекцию раннепермских наутилоидей из рифа Шахтау и выявить их палеобиогеографические связи с фаунами Тетиса и арктической Панталассы.

Новизна исследований основана на описании новых видов, эндемичных для рифа Шахтау, которые не встречаются в других комплексах. Первое детальное сравнение фауны Шахтау с тетическими и арктическими провинциями, которое подтверждает роль рифа, как рефугиума и коридора миграции.

На рифе содержались реликтовые таксоны (формы, которые до этого находили в более древних слоях), что контрастировало с кризисом ортоцерид в пермском периоде. Риф обеспечивал стабильные условия – карбонатные отложения, низкое осадконакопление – позволившие выживать реликтовым группам вопреки массовому вымиранию в открытых морях. Экоструктуры сообществ эволюционировали: в ассельском и сакмарском ярусах преобладали свернутые бентопелагические формы.

Раннепермским неаммоидным цефалоподам на рифе Шахтау посвящены работы А. Ю. Щедеухина. В его исследованиях особое внимание уделяется систематике ортоцерид и наутилоидей, описывает 25 видов ортоцерид, которые включает в себя новые рода и виды, и упоминал аммоидеи в качестве второстепенного компонента. Его работы обозначают Шахтау, как центр реликтовых форм, уделяя особое внимание морфологии, синонимии и биогеографию организмов. В 2015 году Кулагина и ее соавторы в монографии так же рассматривают биостратиграфию и фауну рифа. В их исследованиях основное внимание уделяется аммоидеям, которые встречаются в асселе и ортоцеридам, которые доминировали в фауне. В работах этих авторов подчеркивается важность рифа, как уникального объекта для изучения раннепермских цефалоподов, особенно ортоцерид.

Материалом исследования представляется коллекция из 247 образцов наутилоидей, которая включает в себя 185 целых раковин и их фрагментов, которые были собраны с 2015 по 2023 годы, под руководством УФИЦ РАН: 142 ортоцериды и 92 наутилиды. Сбор проводился визуальным осмотром обнажений на карьере Шахтау, растворением известняков в уксусной кислоте 5-10% (в редком случае 25%) и отбором блоков с препарацией алмазным диском. Образцы хранятся в Геологическом музее Института геологии УФИЦ УрО РАН, Палеонтологическом институте РАН и Музее Стерлитамакского университета.

Методы анализа включали стандартную палеонтологическую таксономию: синонимии с типовыми сериями, морфологию параметров раковин и диагностику новых таксонов. Стратиграфический анализ проводился биостратиграфической корреляции с пермской шкалой по фораниферам, с индексами биоценозов. Сравнительная

биогеография осуществлялась GIS-моделированием ареалов Шахтау и реконструкцией экологии по трофическим группам.

В настоящем разделе представлена систематика раннепермских наутилоидей рифового массива Шахтау. Классификация проведена в соответствии с современными принципами палеонтологической номенклатурой (ICZN, 1999) с учетом ревизии ортоцерид по Щедухину. Фауна включает ордена Orthocerida и Nautilida, с высокой степенью эндемичности, в том числе 18 новых видов из 9 новых родов, реликтовых по сравнению с карбоновыми комплексами.

Ордер Orthocera Kuhn, 1940. Семейство Phiphaoceratide Shimansky, 1967. Род Omorphoceras Foerst, 1942. Голотип ШТ-045/2023, ПИН 6450/1, 5 паратипов ШТ-046-050 ассельского горизонта, Шахтау карьер 1. Раковина прямолинейная, медленно расширяющаяся, сечение субкруглое, орнамент представлен тонкими трансверсальными ребрами (угол наклона 70-80°), септы прямолинейными. Длина раковины до 120 мм, начальная камера 3-5 мм, максимальный диаметр 25 мм.

Новый род и вид: Shaktaoceras (глотиц ШТ-067/2023) Ортоцерераиды с криволинейной раковиной (радиус кривизны 150-200 мм), выраженным продольным орнаментом и волнистыми сутурами; эндемичными таксонами Шахтау, адаптированный к бенопелагическому образу жизни. Семейство Solenochilidae Niko, 2014, Род Solenochilus Conrad, 1838 (3 экземпляра, ШТ-089-091). Узкоротая форма, тонкие трансверсальные реберца, сатурация септ 0,55.

Ордер Nautilida Agassiz, 1847, семейство Acanthonautilus sterlitamarnsis (12 экземпляров, ШТ-120-131) Раковина с плотным узором ребер, колокольчатыми септами и толщиной стенки 1,5-2 мм, отличается повышенной плотностью орнамента и апертурными расширениями.

Расположенный на стыке протоков уральского палеоокеана, риф связывал арктическую Палантасу с Тетийским регионом, что подтверждается палеогеографическими реконструкциями. Шахтау в ассельско-сакмарском эпоху нижней перми выступал узлом миграционных путей реликтовых наутилоидей, чьи морфологические характеристики описаны выше. Расположение таксонов Шахтау реконструировано по 45 локальным эндемичным формам Shaktaoceras уникальным для рифа, тогда как Omorphoceras и Solenochilus имеют аналоги в арктических отложениях Аляски и Новой Земле, а Acanthonautilus в тетических провинциях. Миграционный анализ выявляет поверхностные течения, которые переносили платонические стадии цефалопод, реликтовые черты Шахтау коррелирует с трилобитами Brachymetopus shucherti – в рифе они крупнее и с усилением рельефом, отражая общую адаптацию к стабильной лагунной нише с низкой турбидностью. Кластеризация UPGMA группирует Шахтау между Арктикой и Тетисом, подчеркивая роль рифа как рефугиума в период глобального снижения разнообразия ортоцератид на 70%.

Риф Шахтау в ассельско-сакмарскую эпоху не просто сохранил реликтовые наутилоидей, сохранив глобальный максимум разнообразия вопреки пермскому кризису ортоцератид и выступал коридором миграции между Тетисом и Панталасой. А эндемичные таксоны отражают рифовую специфику: криволинейность раковин и продольный орнамент, как адаптацию к лагунным течениям и бенопелагическому образу жизни.

Полученные данные открывают перспективы для дальнейших раскопок ассельских горизонтов, изотопного анализа и создании уточняющих моделей миграции и биогеографическую корреляцию уральских гор.

Библиографический список

1. Schraut G., Feist R. The late Paleozoic trilobite Brachymetopus // Lethaia. 2001. Vol. 34. P. 45–58.
2. Scotese C. R. PALEOMAP PaleoAtlas for ArcGIS (Paleogeographic, Paleoclimatic and PLATE Project). Evanston: PALEOMAP Project, 2021.
3. Gradstein F. M., Ogg J. G. et al. The geologic time scale 2020. Vol. 2. Amsterdam: Elsevier, 2020. 1354 p.
4. Hyatt A. Cephalopoda // Zittel K.A. Textbook of palaeontology. London: MacMillan, 1897. Vol. 1. P. 502–592.
5. Кулагина Е. И., Скуин Н. Г. и др. Шахтау: пермский риф Южного Урала. Уфа: Институт геологии УФИЦ УрО РАН, 2015. 150 с.
6. Кулагина Е. И., Скуин Н. Г., Муртазова Г. Р. Раннепермская фораминиферовая биота рифового массива Шахтау // Геологический вестник. 2020. № 1
7. Рузенцев В. Е., Шиманский В. Н. Новые роды пермских наутилоидей // Палеонтологический журнал. 1954. № 5. С. 45–56.
8. Щедухин А. Ю. Раннепермские неаммоидные цефалоподы местонахождения Шахтау (Южный Урал). Автореферат дис. ... канд. биол. наук. Москва: ПИН РАН, 2023. 21 с. DOI: 10.31084/2619-0087/2023-2-9
9. Щедухин А. Ю. Новые наутилиды из ассельско-сакмарского рифового массива Шахтау (Южный Урал) // Палеонтологический журнал. 2023. № 4.
10. Щедухин А. Ю. Раннепермские неаммоидные цефалоподы стерлитамакских шиханов // Геологический вестник. 2023. Т. 2. С. 9.

Ф.А. Габидуллин

магистрант,

Уфимский университет науки и технологии, г. Уфа

Научный руководитель: **Г.Ф. Хасанова**

канд. геогр. наук,

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

ПЕРСПЕКТИВЫ ДОБЫЧИ ЛИТИЯ ИЗ ПОПУТНЫХ ВОД АРЛАНСКОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Аннотация. В свете растущего глобального спроса на литий, обусловленного энергетическим переходом на возобновляемые источники энергии и электрификацией, актуальным становится поиск альтернативных и рентабельных источников этого критически важного металла. Одним из таких потенциальных источников являются высокоминерализованные пластовые воды (рассолы) нефтегазовых месторождений. В данной работе рассматриваются геолого-гидрохимические предпосылки, технологические возможности и экономические перспективы извлечения лития из подземных вод Арланского месторождения (Республика Башкортостан, Россия).

Ключевые слова: Арланское месторождение, попутно добываемые пластовые воды (рассолы), литий, высокоминерализованные рассолы, сорбционная технология, циркулярная экономика, Волго-Уральская нефтегазоносная провинция

F.A. Gabidullin

master's student,

Ufa University of Science and Technology, Ufa

Supervisor: **G.F. Khasanova**

cand. geogr. sciences,

Ufa University of Science and Technology, Ufa

PROSPECTS FOR LITHIUM EXTRACTION FROM PRODUCED WATER OF THE ARLAN OIL FIELD

Abstract. In light of the growing global demand for lithium, driven by the energy transition to renewable energy sources and electrification of transport, the search for alternative and cost-effective sources of this critical metal is becoming increasingly relevant. One such potential source is highly mineralized formation waters (brines) of oil and gas fields. This paper examines the geological and hydrochemical prerequisites, technological possibilities, and economic prospects for lithium extraction from the underground waters of the Arlan field (Republic of Bashkortostan, Russia).

Keywords: arlan field, produced formation waters (brines), lithium, highly mineralized brines, sorption technology, circular economy, volga-ural oil and gas province.

Арланское месторождение, являющееся одним из крупнейших в Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, характеризуется уникальным сочетанием факторов, открывающих новое сырьевое направление. Его длительная, насчитывающая десятилетия, история разработки привела к накоплению огромного и, что критически важно, возобновляемого ресурса – попутно добываемых пластовых вод. Ежегодные объемы их извлечения исчисляются десятками миллионов кубометров. Традиционно эти высокоминерализованные растворы (рассолы с общей минерализацией до 250-300 г/л и более) рассматривались исключительно как технологическая проблема – отход производства, требующий затратной утилизации посредством обратной закачки в поглощающие горизонты. Однако их сложный ионно-солевой состав, формировавшийся в течение миллионов лет в глубоких коллекторах девонского возраста, позволяет кардинально изменить парадигму. Эти рассолы представляют собой не отход, а ценное гидроминеральное сырье с поликомпонентным составом. (Лозин Е.В.2012) (Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2022 году 2023).

В глобальном контексте эта переоценка становится особенно актуальной на фоне стремительного роста спроса на литий, обусловленного энергетическим переходом. Традиционные источники «белого золота» – твердые руды гранитных пегматитов и поверхностные рассолы соляных озер (саларов) – сталкиваются с рядом ограничений: географической концентрацией, политическими рисками, растущей

капиталоемкостью освоения и экологическими вызовами. В этих условиях технология извлечения лития из глубинных рассолов (Li-in-brine) приобретает стратегическое значение, предлагая альтернативный, более распределенный и потенциально менее затратный путь. Арланское месторождение, с его развитой инфраструктурой, постоянным притоком рассолов и доказанной высокой концентрацией лития (до 40-120 мг/л), представляет собой идеальный природно-технологический полигон для опробования и внедрения этой технологии в России. Таким образом, интеграция литиевого производства в существующий нефтедобывающий комплекс может стать ярким примером циркулярной экономики, трансформируя экологическую нагрузку в экономическую выгоду и внося вклад в обеспечение сырьевого суверенитета страны в области аккумуляторных технологий. (Тихонов С., 2023)

Пластовые воды продуктивных горизонтов арланской свиты (каменно-угольный период) относятся к хлоридно-кальциевому типу. Ключевыми факторами, определяющими перспективность литиеносности, являются: высокая общая минерализация, что создает условия для концентрирования рассеянных элементов. По данным исторических гидрохимических исследований, содержание лития в пластовых водах Арланского месторождения может достигать 40-70 мг/л, а в отдельных пробах, по некоторым источникам, до 100-120 мг/л. Это сопоставимо или превышает концентрации в эксплуатируемых рассолах солончаков Южной Америки и делает арланские воды конкурентоспособным сырьем: Месторождение обеспечивает постоянный и прогнозируемый приток пластовых вод (миллионы кубометров в год), что критически важно для организации непрерывного производственного цикла. Сопутствующие ценные компоненты: Рассолы могут содержать повышенные концентрации брома, йода, рубидия, цезия, магния и калия, что открывает возможности для комплексной переработки и повышения экономической эффективности. (Орлов С.Н., Афонин А.С., Бандалетова А.А., 2023)

Извлечение лития из арланских вод сопряжено с рядом технологических сложностей, обусловленных составом рассолов. Пластовые воды характеризуются высоким содержанием магния (нередко в тысячи раз превышающим концентрацию Li). Магний является геохимическим аналогом лития, что затрудняет их сепарацию традиционными методами (сорбция, экстракция): Длительное применение методов увеличения нефтеотдачи (закачка химических реагентов) может осложнять процесс предварительной очистки рассола. Высокая минерализация требует использования коррозионно-стойких материалов и решения проблемы солеотложения в оборудовании.

Перспективные технологии: Сорбционная технология с использованием неорганических ион-селективных сорбентов (оксиды марганца, титана и др.): Наиболее адаптируемый метод для рассолов с высоким соотношением Mg/Li., позволяет селективно извлекать литий даже из сложных растворов. Требуется разработка и оптимизация сорбентов под конкретный состав арланских вод. Мембранные технологии (наночистка, электродиализ с селективными мембранами) могут использоваться для предварительного концентрирования лития и удаления многовалентных катионов (кальция, магния). Прямое литиевое осаждение (используется для озерных рассолов): для арланских вод малоприменимо из-за высокого содержания магния и кальция. Технологии с применением MOF (металло-органических каркасов) и новых гибридных материалов: Находятся в стадии активных исследований и могут предложить более высокую селективность в будущем. Наиболее вероятным сценарием является создание гибридной технологической цепочки, включающей стадии предварительной очистки, сорбционного концентрирования лития, регенерации сорбента и получения конечного продукта (карбоната или гидроксида лития).

Экономические и экологические перспективы. Инфраструктура для сбора и первичной подготовки пластовых вод уже существует. Извлечение лития может стать дополнительным высокодоходным направлением, утилизируя отходы нефтедобычи. Переработка пластовых вод с извлечением ценных компонентов минимизирует объемы закачки в поглощающие горизонты или сброса, снижая риски для окружающей среды. Производство лития «на месте» из собственного сырья может способствовать развитию региональной промышленности и обеспечению сырьевой безопасности страны в сфере ВИЭ и аккумуляторных технологий. Высокие капитальные затраты на создание опытно-промышленной установки, энергоемкость процессов, волатильность мировых цен на литий и необходимость обеспечения высокой чистоты конечного продукта для батарейного сегмента. (Каршигина З.Б., Абишева З.С., Бочевская Е.Г., 2020)

Таким образом, подземные воды Арланского нефтяного месторождения представляют собой значительный и недооцененный ресурс лития. Их промышленное освоение технически возможно, но требует предварительных комплексных исследований: детального современного гидрогеохимического опробования для уточнения концентраций и пространственного распределения лития, лабораторных и опытно-промышленных испытаний различных технологических схем извлечения, оптимизированных под специфический состав арланских рассолов. Успешная реализация проекта по добыче лития из пластовых вод Арланского месторождения может стать пилотным для всей Волго-Уральской провинции и создать новый, устойчивый источник стратегического сырья в условиях энергетического перехода.

Библиографический список

1. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2022 году – Москва: Минприроды России, 2023.
2. Каршигина З.Б., Абишева З.С., Бочевская Е.Г. Извлечение лития из попутных пластовых рассолов месторождений нефти и газа // Цветные металлы. – Москва: Руда и Металлы, 2020. – № 7. – С. 23-29. DOI: 10.17580/tsm.2020.07.03.
3. Лозин Е.В. Разработка уникального Арланского нефтяного месторождения востока Русской плиты. – Уфа: БашНИПИнефть, 2012. – 704 с.
4. Орлов С.Н., Афонин А.С., Бандалетова А.А. Анализ химического состава подземных вод нефтегазовых месторождений РФ и перспектив добычи из них лития // Нефтяное хозяйство. – Москва: Нефтяное хозяйство, 2023. – № 12. – С. 69-73. DOI: 10.24887/0028-2448-2023-12-69-73.
5. Тихонов С. Как добыча жидкого лития поможет России стать флагманом мировой экономики будущего // Российская Газета. – Москва: ФГБУ «Редакция «Российской газеты», 2023. – 4 мая.

© Габидуллин Ф.А., Хасанова Г.Ф., 2026

553.611.6

В.М. Ивин

Уфимский Университет Науки и Технологий, г. Уфа
ООО «Уральское горно-геологическое агентство», г. Уфа

Научные руководители:

С.К. Мустафин

д-р геол.-мин. наук, профессор, Уфимский Университет Науки и Технологий,
г. Уфа **А.В. Кочергин**

кандидат геол.-мин. наук, ООО «Уральское горно-геологическое агентство», г. Уфа

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ ТАРАБЕРДИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КЕРАМЗИТОВЫХ ГЛИН РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

Аннотация. В статье рассмотрены минералогические особенности и геологическая позиция Тарабердинского месторождения керамзитовых глин. Установлено, что в составе глинистой фракции преобладают минералы группы смектитов, что совершенно не характерно для отложений неоплейстоцена и голоцена региона. Особенности вещественного состава глин позволяют говорить о решающем вкладе в формирование залежей соленоводных отложений среднего и позднего плейстоцена. Полученные представления могут быть использованы при прогнозировании других месторождений качественного керамзитового сырья в западном Приуралье.

Ключевые слова. Тарабердинское месторождение, керамзитовые глины, минералогический состав, смектиты, иллит, рентгенофазовый анализ, четвертичные отложения.

Введение.

Тарабердинское месторождение расположено в пределах I надпойменной террасы долины р. Белой в Кушнаренковском районе Республики Башкортостан. Месторождение открыто в 2016 году ООО «Уральское горно-геологическое агентство» (Галимов Н.Р., Кочергин А.В.) в результате прогнозно-поисковых работ.

Продуктивная толща участка сложена глинами – преимущественно голубовато-серыми и серыми, реже коричневыми и красновато-коричневыми разновидностями. Она залегает непосредственно под почвенно-растительным слоем на глубине кровли 0,3–2,0 м (в среднем 0,93 м) и подстилается прослоем запесоченных, алевролитистых глин или супесей мощностью до 1,6 м, ниже которого залегает песчано-гравийная толща. Залежь расположена вблизи старицы реки Белой. Геологическая позиция залежи неоднозначна.

Глины месторождения отличаются высокими показателями вспучиваемости. Коэффициент вспучиваемости колеблется от 5 до 9,2. Керамзитовый гравий, полученных из глин характеризуется низкой плотностью (0,25–0,52 гр/см³) при прочности 12–19 Мпа (Попов Е.В., 2018). По технологическим свойствам тарабердинские глины резко превосходят сырье других известных месторождений Башкортостана и являются высококачественным сырьем для керамзитового производства. С целью понимания причин, обеспечивающих высокие технологические свойства, выполнено изучение минералогического состава глин.

Методика исследований.

Для определения минералогического состава глин был проведен рентгенофазовый анализ 3 проб предварительно приготовленных препаратов глин в лаборатории геохимии и изотопной геологии УФИЦ РАН (г. Уфа). Исследования и интерпретация результатов выполнена совместно со старшим научным сотрудником Мичуриным Сергеем Васильевичем и заведующим лабораторией Горожаниным Валерием Михайловичем.

Установлено, что глинистое сырье Тарабердинского месторождения сложено преимущественно смектитами. Об этом свидетельствует наличие пиков 14,2–14,5 Å.

Содержание смектитов при пересчете по методике составляет (35–65%). В целом содержание смектитов в исследованных образцах превышает 50%.

Вторым значимым компонентом является иллит (5–25 %), интерпретируемый по наличию пиков 9,9–10 Å (Дриц В.А., 1976).

Наличие эффектов в диапазоне 7,0–7,25 Å свидетельствует о присутствии минералов группы каолинита в объеме 5–35%.

Фиксируется незначительная примесь кальцита (до 1%).

Также установлено присутствие терригенной примеси кварца (8–15%), полевого шпата (первые проценты).

Таблица 1

Результаты рентгенофазового анализа по пробам

Проба	Монтмориллонит (%)	Иллит (%)	Каолинит (%)	Кварц (%)	Кальцит (%)	Другие (%)
1610024	65	20	5	10	-	-
1610073	50	25	19	10	1	-
1604101	35	5	35	10	-	-

Отмечается положительная корреляция между величиной коэффициента вспучивания и содержанием монтмориллонита (смектитовой составляющей) в глинах.



Рис. 1. Диаграмма зависимости коэффициента вспучиваемости от содержания монтмориллонита Тарабердинского месторождения

Обсуждение результатов.

Полученные результаты показывают, что технологические свойства глин связаны с высоким содержанием смектитов. Другие месторождения керамзитового сырья региона, локализованные в составе аллювиальных и склоновых отложений неоплейстоцена и голоцена характеризуются низкими содержаниями смектитов и, соответственно, низкими значениями коэффициента вспучивания (1-1,8).

Геологическая позиция залежи неоднозначна, глины не содержат явных фаунистических остатков, позволяющих их датировать.

Локализация в пределах первой надпойменной террасы реки может интерпретироваться как ее приуроченность к станичной фации голоцена.

Однако высокое содержание смектитов не типично для глин аллювиальных и склоновых отложений неоплейстоцена и голоцена. Для этих образований характерен иллит-гидрослюдистый и смешанослойный состав с незначительной примесью смектитов.

В среднем и нижнем Поволжье высокое содержание смектитов установлено в составе гимнических соленоводных отложений среднего-верхнего эоплейстоцена. Данный факт позволяет предполагать участие в формировании продуктивной залежи месторождения образований эоплейстоцена.

Выводы.

Установлено, что особенностью, минералогического состава сырья объекта является высокое содержание минералов группы смектитов, что совершенно не характерно для отложений неоплейстоцена и голоцена региона. Особенности вещественного состава позволяют говорить о решающем вкладе в формирование залежей морских отложений акчагыльсокго яруса эоплейстоцена. Полученные представления могут быть использованы при прогнозировании других месторождений качественного керамзитового сырья в западном Приуралье.

Библиографический список

1. Дриц В.А., Сахаров Б.А. Рентгеноструктурный анализ смешанослойных минералов / отв. ред. Б.Б. Звягин; Геол. ин-т АН СССР. – М.: Наука, 1976. – 256 с. – (Труды Геологического института АН СССР; вып. 295).
2. Попов Е.В., отчет «Поиски, оценка и разведка керамзитовых глин на участке Тарабердинский-1 в Кушнаренковском районе Республики Башкортостан», Фонды ООО «УГГА», г. Уфа, 2018 г.

© Ивин В.М., Мустафин С.К., Кочергин А.В., 2026

УДК 552.578(575.2)

**Г.М. Иманалиева,
Г.О. Турпандыкова,
М.К. Собирова**

Кыргызский государственный технический университет имени И. Раззакова,
Кыргызский горнометаллургический институт им. академика У. Асаналиева, г. Бишкек
Научный руководитель: **Ш.Э. Усупаев**
д.-р г-м. н, профессор ЦАИИЗ-Центрально Азиатский институт прикладных исследований Земли, г. Бишкек
Научный консультант **С.К. Мустафин**
д.-р г-м. н, профессор Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

УГЛЕВОДОРОДЫ И ИХ РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ В КЫРГЫЗСТАНЕ

Аннотация. Кыргызская Республика обладает стратегически важными ограниченными запасами углеводородного сырья (нефть, природный газ, уголь) которые сосредоточены преимущественно в межгорных впадинах и осадочных бассейнах. Кыргызстан обладает значительным потенциалом углеводородного сырья, однако его добыча осложнена сложным геологическим строением горных регионов. Самый освоенный регион Ферганская впадина основные месторождения нефти и попутного газа Кочкор-Ата, Избаскент на юге страны Джалал-Абадская и Баткенская области. Рассматривается как перспективная зона Алайская впадина для глубокого бурения. Характеризуются наличием нефтегазопроявлений Чуйская и Нарынская впадины требующих дальнейшего детального изучения и привлечения инвестиций для разведки. В настоящее время республика обеспечивает свои потребности в углеводородах за счет собственной добычи лишь частично, что делает геологоразведку глубоких горизонтов и трудноизвлекаемых запасов приоритетным направлением энергетической стратегии страны. Нефтегазоносные районы в основном приурочены к Южному Кыргызстану (Ферганская впадина), здесь ведется эксплуатация месторождений, находящихся на поздней стадии разработки.

Ключевые слова: углеводороды, нефть, газ, уголь, запасы, геологоразведка, разрез, геориски

HYDROCARBONS AND THEIR PREVALENCE IN KYRGYZSTAN

Abstract. The Kyrgyz Republic possesses strategically important, limited hydrocarbon reserves (oil, natural gas, and coal), concentrated primarily in intermontane basins and sedimentary basins. Kyrgyzstan possesses significant hydrocarbon potential, but its production is complicated by the complex geological structure of its mountainous regions. The most developed region is the Fergana Depression, with major oil and associated gas fields in Kochkor-Ata and Izbaskent in the southern Jalal-Abad and Batken regions. The Alay Depression is considered a promising area for deep drilling. The Chui and Naryn Depressions are characterized by the presence of oil and gas shows, requiring further detailed study and investment for exploration. Currently, the country only partially meets its hydrocarbon needs through domestic production, making exploration of deep horizons and hard-to-recover reserves a priority in the country's energy strategy. Oil and gas regions are mainly located in Southern Kyrgyzstan (Fergana Depression), where fields in the late stages of development are being exploited.

Key words: hydrocarbons, oil, gas, coal, reserves, geological exploration, section, georisks

Введение. В современном Мире изучение нефти и газа имеет первостепенное значение для современной цивилизации, охватывая энергетическую, экономическую, промышленную и научную сферы. Несмотря на развитие возобновляемых источников энергии, углеводороды остаются основой мирового топливно-энергетического баланса. Из нефти сейчас добывают свыше 700 видов нефтепродуктов, используемых в быту и в самых разнообразных отраслях промышленности, включая и пищевую.

Ключевые аспекты важности изучения нефти и газа: а. Энергетическая безопасность. Нефть и газ обеспечивают большую часть потребностей в энергии для транспорта, отопления и выработки

электроэнергии. Эксперты прогнозируют, что даже при сценариях по ограничению изменения климата, значительное потребление нефти и газа сохранится до 2050 года и далее. Обладание технологиями добычи и переработки обеспечивает энергетическую независимость и влияет на международные отношения. б. Нефть — это не только топливо, но и важнейшее сырье для производства: Синтетических тканей, каучука и резины. Пластмасс, полимерных пленок и упаковочных материалов. Удобрений, ядохимикатов, красок, лаков и моющих средств. в. Нефтегазовая отрасль обеспечивает до половины доходов федерального бюджета в ресурсодобывающих регионах. Цена на нефть напрямую влияет на инфляцию, курсы национальных валют и фондовые рынки. г. Изучение недр позволяет раскрыть тайны происхождения углеводородов и глобального круговорота углерода. Развитие методов сейсморазведки и геологии позволяет находить новые залежи, включая трудноизвлекаемые запасы (ТРИЗ) и шельфовые месторождения. Изучение состава пластовых флюидов (включая моделирование "пузырьков" газа) необходимо для эффективной разработки месторождений. д. Инновации в добыче: Изучение нефти стимулирует развитие высоких технологий, таких как горизонтальное бурение, цифровое моделирование месторождений и методы повышения нефтеотдачи. Современное изучение направлено на минимизацию выбросов CO₂ и вредных веществ в атмосферу при сгорании, а также на безопасность при ликвидации скважин.

Постановка проблемы освоения углеводородов в горных странах характеризуется сочетанием сложных геологических условий, труднодоступности инфраструктуры и экологической хрупкости высокогорных экосистем.

Месторождения в горах часто характеризуются высокой тектонической активностью, сложным строением горизонтов, высоким давлением пластов и непредсказуемостью залегания, что затрудняет поисково-разведочные работы. Строительство трубопроводов, дорог и бурение скважин осложнено рельефом, что многократно увеличивает себестоимость продукции. Добыча нефти и газа несет риски загрязнения грунтов, воды и воздуха, а также риск разрушения ландшафтов. Проблемой является истощение старых запасов, требующее постоянного прироста новых месторождений, что в горах сопряжено с высокими инвестиционными рисками.

Методы и методики исследований. Использование спутниковых снимков и радарной интерферометрии для выявления структурных ловушек и высокочастотных аномалий рельефа, указывающих на залежи. Высокоточная аэросъемка с дронов или самолетов помогает «просмотреть» фундамент сквозь мощные толщи осадочных пород и надвигов. Анализ проб воды из горных источников и почвенного газа на наличие микроконцентраций метана и его гомологов, которые просачиваются по тектоническим разломам. Создание компьютерных моделей разрезов. В разной степени и масштабности впадины изучены геофизическими методами: грави-, магнито-, электроразведкой, сейсморазведкой - МОВ, КМПВ, МОВЗ, отдельные участки - методом общей глубинной точки (МОГТ).

Обсуждение результатов. Общая площадь перспективных месторождений нефти и газа в пределах Кыргызстана составляет 22,3 тыс. квадратных километров. Более 5 тыс. из них приходится на сравнительно хорошо изученную Ферганскую впадину, остальные 17 тыс. - малоизученные и неизученные перспективные территории межгорных впадин: Алайской, Нарынской, Атбашинской, Аксайской, Токтогульской, Иссык-Кульской, Восточно-Чуйской, Таласской. Прогнозные ресурсы углеводородов по республике довольно значительные - в пределах 375-765 млн. т. В районе Майлуу-Суу исторически имелись месторождения нефти, давшее название реке ("масляная вода"), город прославился в советское время добычей урана, историей добычи полезных ископаемых, в т.ч. месторождения нефти и газа. Добыча нефти велась с начала 1901 года, но позже, в 1929 году, открыли радиобаритовые руды. Город стал закрытым центром добычи и переработки урана (с 1946-1968 гг.), а нефтяная добыча отошла на второй план, хотя месторождения нефти и газа в целом по области существуют. Майлуу-Суу район относится к регионам с запасами углеводородов. Месторождение Майлуу-Суу относится к категории средних по запасам. В этом районе (включая участок Майлису IV-Восточный Избаскент) сосредоточены значительные для региона объемы углеводородов. Эксплуатацию месторождений в этом регионе ведет ОАО «Кыргызнефтегаз». По состоянию на 2026 год Майлуу-Суу остается одной из ключевых площадок для добычи не только нефти, но и природного газа. Историческая добыча нефти в этом районе привела к ряду экологических проблем. В частности, отмечались случаи утечки нефти в реку Майлуу-Суу. Майлуу-Суу включен в перечень потенциальных участков для расширения добычи углеводородов в Кыргызстане. В 2026 году продолжается реализация планов по наращиванию здесь добычи природного газа для обеспечения энергетической безопасности региона.

На карте (Рис. 1) размещения углеводородного сырья на территории административных областей Кыргызстана, составленной авторами, квадраты окрашенные в черный цвет угольные месторождения, серого цвета бурые угли, треугольные значки черного цвета месторождения нефти, белого цвета газ, комбинированного нефтегаза

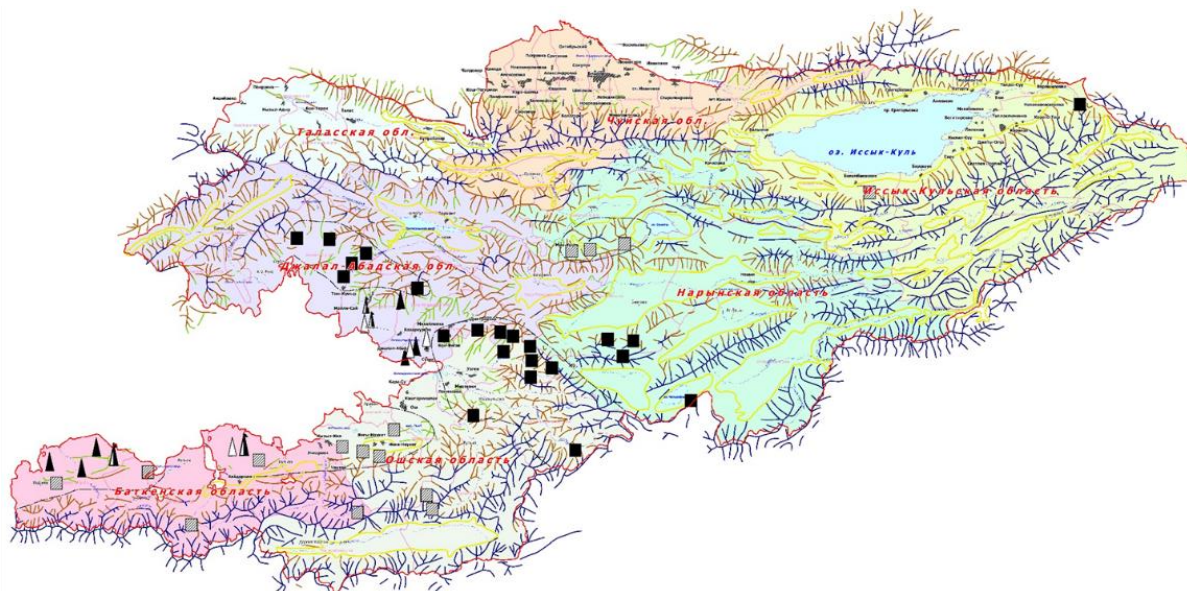


Рис. 1. Карта размещения углеводородного сырья на территории административных областей Кыргызстана (составлена авторами)

По территории Ферганской впадины ресурсы углеводородов разведаны и освоены на 35%. Преобладающая часть запасов нефти залегает в сложных низкопористых и малопроницаемых пластах палеогена с прогнозируемым низким коэффициентом извлечения в 15%. В связи с этим практически невозможно значительное увеличение добычи нефти из этих месторождений без крупных капиталовложений в интенсификацию и бурение эксплуатационных горизонтальных скважин. В то же время по территориям межгорных впадин значительные объемы ресурсов нефти и газа до 765 млн. т. не вовлечены в поисково-разведочные работы и в разработку. Перспективы и запасы углеводородного сырья связаны в основном с мезо-кайнозойскими отложениями. Большой потенциал содержится и в палеозойских образованиях, которые могут содержать различные типы ловушек, требующих большой глубинности сейсмических исследований, бурения до 5 тыс. м. и значительных финансовых затрат. Геолого-геофизическая изученность межгорных впадин слабая и неравнозначная.

Наиболее исследованы Алайская, Восточно-Чуйская, Иссык-Кульская, Нарынская и Атбашинская впадины, в пределах которой пробурены скважины глубиной до 4,5 тыс. метров и выполнены сейсморазведочные работы методом общей глубинной точки (МОГТ). Во всех исследованных впадинах получены признаки нефти и газопроявлений. Высокая перспективность на нефть и газ изучаемых впадин обусловлена их пространственным размещением по северной периферии нефтегазового Таримского бассейна (КНР) и примыканием с востока к Ферганскому нефтегазоносному бассейну. Примечательно также, что Восточно-Чуйская впадина является восточным замыканием промышленно-газоносной Чу-Сарысуйской депрессии Казахстана. Остальные межгорные впадины с позиций нефтегазоносности не изучались, но в их пределах проведены геологические съемки различных масштабов, геофизические исследования практически отсутствуют. Бурение глубоких поисково-разведочных скважин практически не проводится. Вследствие этого не было приращения запасов нефти и газа, а за 1992-2012 годы происходило постоянное уменьшение подготовленных к разработке запасов нефти и газа на величину их добычи.

Основные месторождения углеводородов в Кыргызстане приурочены к осадочным бассейнам, расположенным на окраинах Тянь-Шаня. Ключевой нефтегазоносной областью является Ферганская впадина (юг страны), где сосредоточены основные запасы нефти и газа, в том числе месторождения Майли-Суу, Избаскент. Ресурсы представлены нефтью, свободным газом и газоконденсатом. Месторождения в основном мало- и среднедебитные, залегают на различных глубинах. Углеводородное сырье формируется в месторождениях в условиях высокой тектонической и сейсмической активности. Кыргызстан не является крупным экспортером углеводородов и характеризуется невысокой степенью разведанности глубоких горизонтов. Большая часть существующих месторождений находится на поздней стадии разработки, что характеризуется высокой степенью выработанности. Активные поиски углеводородов продолжаются, особенно на перспективных площадях в Чуйской, Ферганской и Алайской впадинах. Ведется оценка георисков на территориях освоения месторождений. В контексте энергетических ресурсов, помимо нефти и газа, республика обладает значительными доказанными запасами угля (более 1 млрд. т. на 2016 год, что делает его важным углеводородным сырьем для энергетики. Уголь Кыргызстана Кыргызстан обладает 1 070 млн тонн (MMst) доказанных запасов угля по состоянию на 2016 г., занимая 33 место в мире.

Выводы

1. На основе геодинамических, геофизических и геохимических исследований с проведением глубокого бурения осуществляются поиск месторождений нефти и газа.
2. Ферганская впадина является перспективной, т.к. содержит карбонатные и терригенные отложения пермского возраста в пределах Кугартской и Сузакской антиклинальных структур и палеогеновый комплекс отложений, а также неантиклинальные ловушки мезозойского и кайнозойского возраста.
3. Перспективны карбонатные формации в Нарынской, Атбашинской и Аксайской впадинах среднего палеозоя, девонская флишеидная формация и девонские аллювиально-дельтовые кварцевые песчаники Кок-Шаала по аналогии с Таримским нефтегазоносным бассейном.

Библиографический список

1. Айтеков М.-П. Б., Бабаев М. Р., Усупаев Ш. Э. Радионуклиды как геориски в углеводородном сырье Дагестана. Сборник докладов 8-ой международной молодежной конференции «Современные техника и технологии в научных исследованиях». ФГБУН Научная Станция РАН. г. Бишкек. 24-25 марта 2016. С. 359-363.
2. Бабаев А.Г. О типах разреза мела Ферганы // ДАН УзССР. - 1950. - № 12. - С. 11-14.
15. Габрильян А.М. Литология, палеогеография и вопросы нефтегазоносности верхнемеловых и палеогеновых отложений Ферганской депрессии. - Ташкент: Изд-во АН УзССР, 1957. - 397 с.
3. Мустафин С.К. Пластовые воды нефтяных месторождений: экологический мониторинг, защита от загрязнения, перспективы освоения. Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: материалы VII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 60-летию Института геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения РАН, 5–7, 04. 2017 г: в 2 т. Якутск: Издательский дом СВФУ, 2017. С. 348 – 353
4. Умурзаков Р.А., Раббиркулов С.А. Анализ влияния тектонического фактора на размещение месторождений нефти и газа Ферганской впадины / Р.А. Умурзаков, С.А. Раббиркулов // Известия ГНКАР – №4 – (2021) – С. 8–23.
5. Усупаев Ш.Э., Жумашов Ж.Н., Жумашева З.Н. О генезисе нефти и газа горных стран и георисках от их освоения в регионе Центральной Азии. Материалы Международной научно-практической конференции «Наука и образование: проблемы и стратегии развития». Изд-во «НИКА». г. Уфа, Российская Федерация 15-16 ноября 2015 г. С. 27 – 31
6. Усупаев, Ш.Э. Состояние нефтегазоносности недр Киргизской Республики: основные геологические аспекты. Международная научно-практическая конференция, посвященная 75-летию горно-нефтяного факультета Уфимского государственного нефтяного технического университета и 100-летию со дня рождения ученого Спивака А.И.: Сборник материалов. – Уфимский научно-практический центр «Издательство УГНТУ», 2023. – С. 199–201.

© Иманалиева Г.М., Турпандыкова Г.О., Собирова М.К., Усупаев Ш.Э., Мустафин С.К., 2026

УДК 550.8

И.Х. Кадырбаков

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

Научные руководители: **С.К. Мустафин**,

д-р. геол.-мин. наук, профессор, Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

В.Н. Никонов,

кан. геол.-мин. наук, доцент, Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СТРОИТЕЛЬНОГО КАМНЯ НА ЮЖНОМ УРАЛЕ

Аннотация. В статье рассмотрены проблемы подготовки месторождений общераспространенных полезных ископаемых.

Ключевые слова. Строительный камень, подготовка месторождений, структура залежей, вещественный состав, гипергенез, карст, методы испытаний.

PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF BUILDING STONE DEPOSITS IN THE SOUTHERN URALS

Annotation. The article discusses the problems of preparing deposits of common minerals.

Keywords. Building stone, preparation of deposits, structure of deposits, material composition, hypergenesis, karst, test methods.

Строительный камень относится к общераспространенным полезным ископаемым. Традиционно считается, что месторождения общераспространенных полезных ископаемых характеризуются простым строением и методика их подготовки не сложна. Однако, последние десятилетия происходит резкое ужесточение требований к качеству строительного камня и щебневой продукции на его основе. Востребованным становится высокопрочный камень с высокими показателями морозостойкости и истираемости, низкой лещадностью. Появляются новые, ранее неизвестные, направления использования строительного камня: производство кровельной посыпки, получение теплоизоляционных материалов нового поколения – минеральной (каменной, базальтовой) ваты. Использование сырья в новых условиях требует и более детального подхода к их изучению. Какие же негативные факторы обычно отмечаются при работе с материалами прошлых лет по месторождениям строительного камня?

1. Упрощенное понимание структуры залежей строительного камня. В подавляющем большинстве случаев залежь описывается как простая пластообразная пологозалегающая. Причем это описание приводится не только для залежей в осадочных толщах в платформенном чехле, но и для объектов в сложноразбитых толщах Восточного склона Урала и даже метаморфических комплексов Уралтауской структуры.

Так, изучение залежей плитчатого строительного камня Темясовской группы месторождений слюдястых кварцитов (златолита) в горных выработках показало, что представления о пологом моноклинальном залегании продуктивных тел не выдерживают критики (Кадырбаков И.Х., ...2022). Толщи смяты в запрокинутые, складки. В комплексе надежно устанавливаются и читаются пологие, преимущественно лежащие, опрокинутые и запрокинутые складчатые дислокации. Причем четко видно, что продуктивные тела приурочены к пологим крыльям этих складок, где наблюдается совпадение направлений слоистости и кливажа. В замковых же частях структур кливажные трещины направлены веерообразно, секут слоистость, что предопределяет раздробленность плиток, здесь же развито окварцевание. По-видимому, предшественники за слоистость принимали кливаж.

Другой пример – структура крупного Абзаковского месторождения. Объект сложен андезит-базальтовыми туффитами ирендыкской свиты с телами субинтрузивных андезит-базальтовых порфириров. На подсчетных разрезах залежь показана как пологая, но обнажениях читается круто наклонное залегание толщи ирендыкской свиты с формированием крупных складчатых структур.

2. Недоизученность вещественного состава. Нормативными документами предусмотрен набор необходимых петрографических исследований и определения содержаний основных оксидов по единичным штучным образцам. Однако, при использовании камня в специальных направлениях: для производства минеральной ваты и кровельной посыпки, этих данных недостаточно. Так, в процессе подготовки Буйдинского месторождения сырья для кровельной посыпки установлено, что негативное изменение цвета кровельных гранул в процессе технологического обжига и эксплуатации мягких кровель (появление пятен и подтёков «ржавчины») связаны с развитием на их поверхности тонкодисперсных выделений оксидов гидрооксидов железа.

«Ржавление» неокрашенных гранул активно проявляется в результате их технологического нагрева. Образование гидрооксидов железа происходит при окислении сульфидов и карбонатов железа, и за счет частичного окисления алюмосиликатов, содержащих железо в своей структуре. Оксиды железа (магнетит и гематит) ведут себя инертно и не изменяются в практически значимых объемах.

Таким образом, качество сырья лимитируется содержанием сульфидов, кварца и карбонатов.

3. Недоучет гипергенного фактора. Южный Урал претерпел долгую историю гипергенного воздействия на коренные комплексы. На Восточном склоне процессы гипергенеза развивались с среднего Триаса. На Западном – по меньшей мере с олигоцена. Все породные комплексы несут следы гипергенеза.

Даже на массивах крепких силикатных и кварцевых пород мы наблюдаем мощные зоны преобразований, ведущих к снижению прочностных и иных характеристик камня. Так, на Абзаковском месторождении зоны разуплотненных коренных пород прослеживаются в узких линейных зонах до глубины 50 м. Средняя глубина ослабленных пород – 14 м. На Кулгунинском месторождении кварцитовидных песчаников гипергенное воздействие приводит к цементированию песчаников вплоть до образования рыхлых песков.

4 Недоучет карстового фактора. Типичная проблема для залежей в карбонатных толщах региона. Обычно степень закарстованности оценивается по доле фактических пересечений карстовых полостей и заполненного карста от общего метража бурения по залежи полезного ископаемого. Такой подход требует идеально равномерного расположения сети изучения, что практически недостижимо на практике.

Перечисленные недостатки усугубляются некорректности части нормативной документации по подготовке месторождений и оценке качества сырья.

В частности, согласно Методическим рекомендациям к классификации запасов твердых полезных ископаемых (Строительный и облицовочный камень) основным параметром оценки качества строительного камня в рядовых пробах является прочность на одноосное сжатие штучов (Методические рекомендации ... 2007). Однако практикой показана некорректность использования данного показателя, что связано с субъективным характером отбора штучов на испытания. Метод должен быть заменен на массовый (дробимость (потери массы по сжатию щебня в стакане), отбор материала для испытаний для которого производится со всего характеризуемого интервала. Также существенные вопросы вызывает генетический

подход при определении марки строительного камня. Данный подход часто не учитывает вещественный состав, вторичные изменения и структурно-текстурные особенности пород, которые и во многом определяют их прочностные свойства. Наиболее достоверную картину показывает классификация на основе вещественного / минерального состава.

До 2000-х годов подготовка месторождений строительного камня производилась по заявительному принципу. Сегодня данная практика себя полностью исчерпала. Грамотная, целенаправленная подготовка этих объектов требует такого же внимательного и грамотного подхода, как и подготовка рудных месторождений.

Библиографический список

1. Аминов В.Н., Каменева Е.Е., Устинов И.Д. Инновационные разработки для повышения точности оценки физико-механических свойств строительных горных пород при геологической разведке // Строительные материалы. 2017. № 5. С. 69–72. DOI: 10.31659/0585-430X-2017-748-5-69-72.
2. Линник Ю.Н., Линник В.Ю. Взаимосвязь показателя дробимости горных пород при ударном приложении нагрузки с физико-механическими свойствами горных пород журнал Уголь. 2025; 3: с 121-125. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-3-121-125
3. Кадырбаков, И. Х. Факторы локализации залежей плитчатого камня Уралтауского мегантиклинория / И. Х. Кадырбаков // Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий. – 2022. – № 10. – С. 29-32. – EDN RUTUKL.
4. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Строительный и облицовочный камень. Утверждены распоряжением МПР России от 05.06.2007 г. № 37-р.
5. Методические рекомендации по повышению качества дорожных оснований из щебня различных пород», разработанных. СоюздорНИИ. Участок оперативной полиграфии СоюздорНИИ. М., 1980, 18 с.

© Кадырбаков И.И., Мустафин С.К., Никонов В.Н., 2026

УДК 622. 276

Н.Э. Карамов
студент гр. БЭГ2.0-25-01
Уфимский государственный нефтяной технический университет, г.Уфа
М.А. Машков
студент гр. 22305
Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск
А.Е. Тасмуханова
доцент УВШЭУ
Уфимский государственный нефтяной технический университет, г.Уфа

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ЯКУТИИ

Аннотация. В работе представлено экономическое обоснование проведения геолого-разведочных работ на одном из месторождений, расположенном в Республике Саха (Якутия).

Ключевые слова. Затраты, стоимость, геолого-разведочные работы, экономическое обоснование.

ECONOMIC JUSTIFICATION OF EXPLORATION WORKS AT THE YAKUTIA DEPOSIT

Annotation. The paper presents an economic justification for conducting geological exploration at one of the deposits located in the Republic of Sakha (Yakutia).

Keywords. Costs, value, geological exploration, economic justification

Месторождение находится в пределах Алданского щита, в зоне влияния Токкинского и Кондинского разломов. Геологическая структура района сложена архейскими метаморфическими породами, рифейскими осадочными отложениями и мезозойскими магматическими комплексами (Машкова, 2017).

Район месторождения характеризуется резко континентальным климатом, сложным рельефом и наличием многолетней мерзлоты. Эти факторы существенно влияют на проведение геолого-разведочных работ, ограничивая их сезонность и увеличивая затраты на организацию буровых работ.

Месторождение относится к гидротермально-метасоматическому типу. Рудные залежи связаны с кварц-кальциевыми метасоматитами, образовавшимися в результате мезозойской тектономагматической активизации. Основные рудные минералы – пирит, халькопирит и теллуриды, при этом золото ассоциировано

с мышьяковистым пиритом. Генезис месторождения объясняется многоэтапным процессом, включающим калиевый метасоматоз, карбонатизацию и эпитермальную минерализацию.

Разведка месторождения проводилась по сети 80×50 м с участками детализации 40×50 м. Для построения геологической модели и подсчета запасов использовались данные кернового опробования, лабораторных исследований и внутреннего геологического контроля ((Машкова, 2019). На основе этих данных выделено 119 рудных залежей сложной морфологии, однако разреженная сеть скважин не позволила полностью устранить неопределённости в оценке границ оруденения. Планируется пробурить 177 скважин общей глубиной 35100 м в течение 3-х лет (2025-2027 гг.).

Таблица

Суммарные затраты на проведение работ, тыс. руб.

	2025 г.	2026 г.	2027 г.	Итого за 3 года
Бурение п.м.	73470	80817	85522,8	239809,8
Инклинометрия п.м.	3555	3910,5	4172,4	11637,9
Документация п.м.	4640	5214	5638,6	15492,6
Опробование п.м.	5800	6517,5	7048,25	19365,75
Лаборатория п.м.	12960	15642	18077,4	46679,4

Согласно разработанным детальному календарному плану и сметы затрат, с учётом сезонных ограничений и инфляции, общая стоимость проекта оценивается в 332 985 450 рублей. Основные работы запланированы на весенне-осенний период, что минимизирует дополнительные расходы, связанные с зимними условиями. Полученные результаты необходимо использовать в процессе преподавания профильных дисциплин для геологических и экономических специальностей (Машкова Е.А. 2007).

Библиографический список

1. Машкова Е.А., Валеева А.А. Возможности использования данных МОГТ-3D для уточнения геологического строения месторождения // В сборнике: Нефтегазовые технологии и новые материалы. Проблемы и решения. Уфа, 2017. С. 28-30.
2. Машкова Е.А. Подсчет запасов растворенного газа в нефти объемным методом // Сборник тезисов IX МНПК. 2019. С. 149-153.
3. Ишмухаметов К.Ф., Яркева Н.Р., Марушевский В.Э. Применение блочно-факторного анализа для мониторинга месторождений // В книге: Материалы 74-й НТК студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ. Уфа, 2023. С. 96.
4. Машкова Е.А. Формирование профессиональной компетентности выпускников нефтяных вузов // Альманах современной науки и образования. 2007. № 1. С. 159-161.

© Карамов Н.Э., Машков М.А., Тасмуханова А.Е., 2026

УДК 622. 276

Н.Э. Карамов

студент гр. БЭГ2.0-25-01

Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа

С.Е. Огуречникова

студентка гр.СГЛ-24-01

Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа

Е.А. Машкова

к. п. н., доцент каф. геологии

Уфимский университет науки и технологии, г. Уфа

АНАЛИЗ ВЫРАБОТАННОСТИ ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Аннотация. В работе представлен анализ выработанности запасов одного из месторождений Западной Сибири.

Ключевые слова: остаточные запасы, выработка запасов, геолого-технические мероприятия, извлекаемые запасы.

ANALYSIS OF RESERVOIR DEVELOPMENT IN WESTERN SIBERIA

Annotation. The paper presents an analysis of the depletion of reserves at one of the fields in Western Siberia.

Keywords. Residual reserves, reserves development, geological and technical measures, recoverable reserves.

В настоящее время большинство месторождений Западной Сибири находится на поздней стадии разработки и характеризуются низкой текущей выработкой (Баширова, 2015. Ишмухаметов, 2023). По прогнозам невырабатываемые запасы могут составлять более 40 % начальных извлекаемых запасов, находящихся на балансе (Машкова, 2017). На объектах с низкой выработкой отмечается высокая доля неуспешных геолого-технических мероприятий, проведенных в зонах с предполагаемой максимальной локализацией балансовых остаточных извлекаемых запасов (Трофимов, 2016. Яркиева, 2020). В связи с этим становятся актуальными вопросы определения зон как остаточных запасов нефти, так и уточнение запасов в целом (Машкова, 2019). Для анализа выработанности запасов были построены карты распределения остаточных запасов одного из месторождений Западной Сибири (рис. 1 и 2). Удельные геологические запасы при этом изменяются от 260,8 тыс.т до 534,4 тыс.т. Строение карты (рис. 1) позволило выявить зоны с низкими значениями показателями выработки запасов нефти.

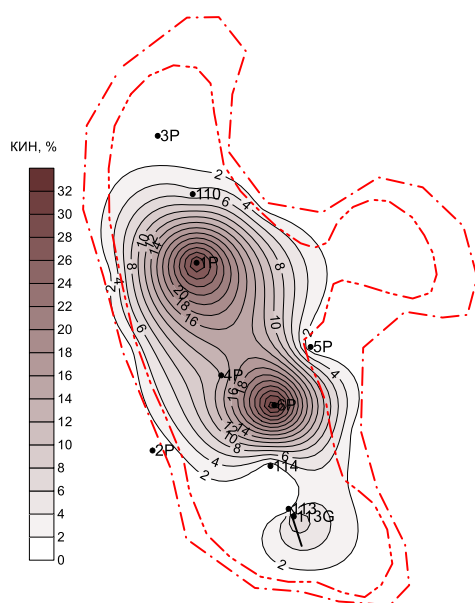


Рис. 1. Карта-схема выработки остаточных запасов нефти

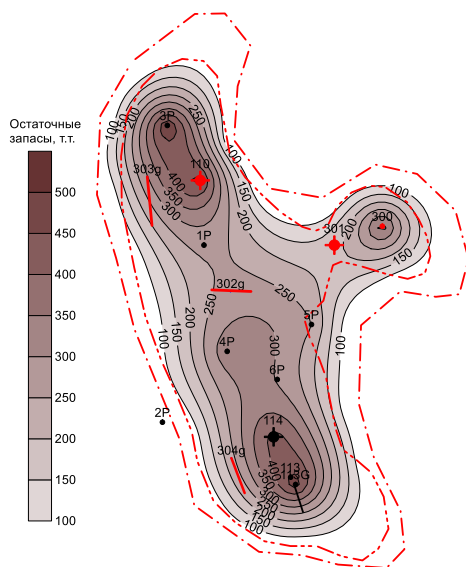


Рис. 2. Карта-схема остаточных запасов нефти и расположение проектных скважин пласта Ю11-2

Анализ карт позволил выделить на участке зоны высоких и низких отборов нефти (Яркиева, 2021). Для изолированной восточной части залежи рекомендуется добавить добывающую скважину и с целью поддержания энергетического состояния залежи пробурить нагнетательную скважину. Дополнительное (уплотняющее) бурение на поздних стадиях разработки во многих случаях оказывается единственно реальной возможностью замедлить темпы снижения добычи нефти и повысить нефтеотдачу пластов (Яркиева, 2019. Шайхутдинов, 2019). В сложившихся условиях имеется очень серьезная опасность оставить значительную

часть запасов в непромытых, не охваченных процессом вытеснения зона пласта (Yarkeeva, 2022). Чтобы извлечь эту нефть, потребуется бурение дополнительных скважин наряду с другими мероприятиями.

Рекомендуется вовлечение в разработку недренируемых ранее запасов нефти, с использованием вертикальных и горизонтальных скважин (рисунок 2). Скважины 303g, 304g находятся близко к внутреннему контуру нефтеносности, поэтому рекомендуется проводить их горизонтально. Скважина 302g находится в чисто-нефтяной зоне можно ее провести как горизонтально, так и вертикально и использовать полученные данные в учебном процессе. (Машкова, 2007).

Библиографический список

1. Баширова А.М., Яркеева Н.Р. Цифровая фильтрационная модель как способ прогнозирования показателей работы проектных скважин на примере пласта БВ81 Северо-Покурского месторождения // Нефтегазовое дело. 2015. Т. 13. № 4. С. 97-102.
2. Ишмухаметов К.Ф., Яркеева Н.Р., Марушевский В.Э. Применение блочно-факторного анализа для мониторинга месторождений // В книге: Материалы 74-й НТК студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ. Уфа, 2023. С. 96.
3. Машкова Е.А., Валеева А.А. Возможности использования данных МОГТ-3D для уточнения геологического строения месторождения // В сборнике: Нефтегазовые технологии и новые материалы. Проблемы и решения. Уфа, 2017. С. 28-30.
4. Трофимов М.С., Яркеева Н.Р. Проектирование гидравлического разрыва пласта на скважинах Южно-Тарасовского месторождения // Нефтегазовое дело. 2016. Т. 14. № 4. С. 58-63.
5. Машкова Е.А. Подсчет запасов растворенного газа в нефти объемным методом // Сборник тезисов IX МНПК. 2019. С. 149-153.
6. Яркеева Н.Р., Имангулов Д.В. Анализ эффективности проведения зарезки боковых стволов на Варьеганском месторождении // Технологии нефти и газа. 2020. № 1 (126). С. 30-33.
7. Яркеева Н.Р., Самушкова Э.С. Проектирование фильтрационной модели терригенного пласта на примере пласта ЮСП Киньяминского нефтяного месторождения // Территория Нефтегаз. 2021. № 1-2. С. 26-31.
8. Яркеева Н.Р., Нуртдинов А.Р., Имангулов Д.В. Прогноз эффективности зарезки боковых стволов на основе 2D модели пласта месторождения Западной Сибири // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2019. № 4 (120). С. 29-37.
9. Шайхутдинов Т.Ф., Яркеева Н.Р. Анализ основных причин повышения обводненности продукции добывающих скважин на нефтяных месторождениях // В сборнике: Инновации и наукоемкие технологии в образовании и экономике. Материалы VIII Международной научно-практической и методической конференции. отв. ред. Ямалетдинова К.Ш., 2019. С.206-209.
10. Yarkeeva N.R., Farkhutdinova A.I., Zaripova D.A. Water injection front estimation of oil fields to reduce risks of sharp water flooding // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk, 2022. С. 042014.
11. Машкова Е.А. Формирование профессиональной компетентности выпускников нефтяных вузов // Альманах современной науки и образования. 2007. № 1. С. 159-161.

© Карамов Н.Э., Огуречникова С.Е., Машкова Е.А., 2026

И.Д. Ложкин,

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

Институт геологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, г. Уфа,

Р.А. Хрипунова

Институт геологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, г. Уфа

Научный руководитель: А.В. Сначев,

к. г.-м. н, доцент, Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

к. г.-м. н, Институт геологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, г. Уфа

МЕТОДИКА ИЗВЛЕЧЕНИЯ ГРАНАТА ПУТЕМ ХИМИЧЕСКОГО ТРАВЛЕНИЯ И СРАВНЕНИЕ СОСТАВА С МЕСТОРОЖДЕНИЕМ ПОЛДНЕВСКОЕ

Аннотация. Из гипербазитового массива Рай-Из были отобраны демантоиды с целью опробования на них методики по извлечению граната путем химического травления и последующим сравнением состава с месторождением Полдневское.

Ключевые слова: массив Рай-Из, гранат, демантоид, серпентинит, хризотил-асбест, дунит, андрадит.

METHOD OF EXTRACTION OF GARNET BY CHEMICAL TREATMENT AND COMPARISON OF THE COMPOSITION WITH THE POLDNEVSKOYE DEPOSIT

Annotation. Demantoids were selected from the Ra-Iz hyperbasite massif in order to test the method of extracting garnet by chemical etching and subsequent comparison of the composition with the Poldnevskoye deposit.

Keywords. Rai-Iz ophiolite massif, garnet, demantoid, serpentinite, chrysotile asbestos, dunite, andradite.

В ходе научно-исследовательских работ были отобраны демантоиды из серпентинитов массива Рай-Из. Вмещающими породами проявлений граната являются антигорит-бруситовые, хризотиллизардитовые серпентиниты – породы, характерные для контактового прогрессивного метаморфизма.

Гипербазитовый массив Рай-Из представляет крупную геологическую структуру, относится к альпинитиформным массивам, обрамленная осадочно-метаморфическим комплексом. В геологическом отношении участка принимают участие гипербазитовые магматические образования Райизского массива, комплекс протерозойско-палеозойских регионально-метаморфизованных образований, динамометаморфические и метасоматические породы зоны меланжа. Сама структура эндоконтакта массива представляет собой сложноструктурированный геологический объект, основными компонентами которого, кроме метасоматических пород, являются метаморфиты, меланжированные ультраосновные породы. (Рис. 1)

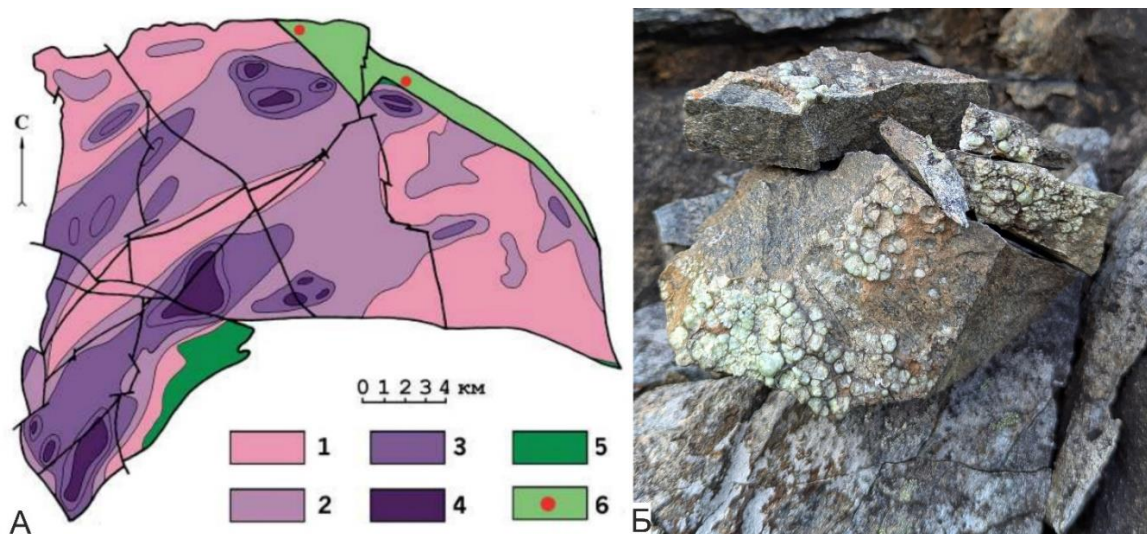


Рис. 1. А – Карта дунитовой составляющей массива Рай-Из (Макеев, Брянчанинова, 1999); (Лютюев, Макеев, Симакова, Терехов, 2024); Б – Демантоид в коренной породе (Сделано автором)

Условные обозначения: 1 – 0–10% дунитов (гарцбургит-лерцолитовый комплекс); 2 – 10–30% дунитов (дунит-гарцбургитовый комплекс); 3 – 30–70% дунитов (дунит-гарцбургитовый комплекс); 4 – >70% дунитов

(дунитовый комплекс); 5 – полосчатый дунит-верлит-клинопироксенитовый комплекс; 6 – зона меланжа с проявлениями демантоида

Демантоид является редкой и наиболее ценной разновидностью минерала группы граната. Коренные месторождения связаны с серпентинизированными ультраосновными породами и серпентинитами и представлены зонами мелких минерализованных трещин, которые часто заполнены жильной массой, состоящей из хризотил-асбеста и метаксита с включением демантоида. (Google Patents, 2024)

На протяжении всего Уральско складчатого комплекса выделяется несколько коренных месторождений и проявления демантоида, причем каждое из месторождений соответствует своему гипербазитовому массиву. (Ахметшин и др., 2009)

Способ нетравматичного извлечения граната демантоида из рудной массы методом химического травления, включающий в себя стадию промывки демантоидсодержащих руд проточной водой с целью удаления загрязнений, последовательное погружение руд сначала в раствор HCl концентрацией 36%, ХЧ на 20 минут для растворения карбонатов, промывку руды и затем погружение в раствор H₂O₂ концентрацией 20%, Ч на 2 суток для дезинтеграции серпентинита, а также промывку дезинтегрированной породы с осаждением и последующим извлечением кристаллов демантоида. (Google Patents, 2024)



Рис. 2. Извлечения граната демантоида из рудной массы методом химического травления до (А) после (Б) (составлен автором)

Данная методика показала хорошую эффективность, гранаты хорошо освобождаются от серпентинитовой рубашки, без повреждений и изменения цвета. Таким образом с помощью данной методики было получено около 40 кристаллов граната, освобожденных от коренной породы. (Рис. 2)

Были проведены анализы на электронном сканирующем микроскопе, в ходе которого выяснилось, что состав демантоидов очень похож и мало чем отличается от месторождения демантоидов Полдневское. Отличие имеется в том, что большинство зерен с проявления Ущельный содержит 0,2% Sc и не содержит Cr, а на Месторождении Полдневское содержится 2% Cr, который придает насыщенный зеленый цвет демантоиду и отсутствует в составе Sc (Рис. 3)



Рис. 3. Сравнительная диаграмма элементного состава демантоидов с двух месторождений (Составлен автором)

Библиографический список

1. Ахметшин Э.А. Генезис демантоида. Металлогения древних и современных океанов. Материалы научной студенческой школы. Миасс, УрО РАН, 1995. 119 с.
2. Ахметшин Э.А. Краткий обзор месторождения демантоида России. Тезисы докладов. III Международная Конференция. Новые идеи в науках о Земле. Т.1. М., МГТА, 1997. 314 с.
3. Ахметшин Э.А., Новосельцева Т.А., Мельников Е.П. Особенности условий образования и парагенезис демантоида коренных месторождений Урала. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2009. № 2. С. 305-307.
4. Карасева Е.С., Кисин А.Ю., Мурзин В.В., Селезнев С.Г. Условия образования демантоида Полдневского месторождения (Урал) // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Науч. чтения пам. П.Н. Чирвинского: сб. науч. ст. / отв. ред. И.И. Чайковский; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Вып. 23. Пермь, 2020. С. 16-21.
5. Кисин А.Ю., Мурзин В.В., Карасева Е.С., Огородников В.Н., Поленов Ю.А., Селезнев С.Г., Озорнин Д.А. Проблемы структурного контроля демантоидовой минерализации на Полдневском месторождении // Известия УГГУ. 2020. № 2.
6. Лютоев В. П., Макеев А. Б., Симакова Ю. С., Терехов Е. Н. Серпентиниты зоны меланжа на севере массива Рай-Из, вмещающие ювелирный гранат (андрадит-демантоид) // Вестник геонаук. 2024. 7(355). С. 24–31. DOI: 10.19110/geov.2024.7.3
7. Сайт Google Patents [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/RU2783746C1/ru>. (дата обращения: 20.12.2025)

© Ложкин И.Д., Хрипунова Р.А., Сначев А.В., 2026

УДК 553.98

М.Р. Лукманова,
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа
Научный руководитель: **Е.А. Машкова,**
канд. пед. наук, доцент, Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И ГАЗОНОСНОСТЬ ЯМБУРГСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Аннотация. В работе рассмотрены особенности геологического строения и газоносности Ямбургского месторождения, расположенного в пределах Надым-Пурской нефтегазоносной области Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Проанализированы литолого-стратиграфические особенности разреза, тектоническое строение территории и закономерности размещения газовых залежей. Установлено, что основные залежи углеводородов приурочены к песчаным коллекторам апт-сеноманского и неокомского нефтегазоносных комплексов.

Ключевые слова. Ямбургское месторождение, Западно-Сибирская провинция, природный газ, газовые залежи, нефтегазоносные комплексы, сеноман, неоком.

FEATURES OF GEOLOGICAL STRUCTURE AND GAS CONTENT OF THE YAMBURG FIELD

Abstract. The article considers the geological structure and gas potential of the Yamburg gas field located within the Nadym-Pur oil and gas region of the West Siberian oil and gas province. Lithological and stratigraphic features of the section, tectonic conditions of formation and patterns of hydrocarbon accumulation are analyzed. It is established that the main gas reserves are associated with sandy reservoirs of the Aptian-Cenomanian and Neocomian complexes.

Keywords. Yamburg field, West Siberian province, natural gas, gas deposits, oil and gas complexes.

Ямбургское месторождение является одним из крупнейших газовых месторождений Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Оно расположено в пределах Надым-Пурской нефтегазоносной области и характеризуется значительными запасами природного газа.

Изучение геологического строения месторождения имеет важное значение для понимания условий формирования залежей углеводородов, а также для повышения эффективности их разработки. Основные залежи газа связаны с мезозойскими терригенными отложениями, представленными чередованием песчаников, алевролитов и глин.

ОБЗОРНАЯ КАРТА РАЙОНА РАБОТ масштаб 1 : 1000000



Автор Русинев С.В.

0 20 40 60 км

Условные обозначения

Рис. 1. Обзорная карта работ (Фондовые материалы..., «Севергазгеофизика»)

В основу исследования положены материалы геолого-геофизических исследований Ямбургского месторождения, данные бурения разведочных и эксплуатационных скважин, а также результаты интерпретации геофизических исследований скважин. (Мамаев А.В. 2014)

Нефтегазоносность месторождения установлена в широком стратиграфическом диапазоне – от сеноманских отложений верхнего мела до среднеюрских пород. Основные залежи газа связаны с апт-сеноманским и неокомским нефтегазоносными комплексами.

Коллекторы представлены преимущественно песчаниками и алевролитами, обладающими хорошими фильтрационно-емкостными свойствами. Газ месторождения характеризуется высоким содержанием метана (более 90%), а также присутствием этана, пропана и других углеводородов. (Атлас..., 2002)

Геологическое строение месторождения. Геологический разрез Ямбургского месторождения представлен мощной толщей мезозойско-кайнозойских осадочных пород, перекрывающих палеозойский фундамент. Осадочный чехол сложен преимущественно терригенными породами – песчаниками, алевролитами и глинами. Максимальная глубина вскрытия разреза достигает 4515 м.

Палеозойский фундамент в пределах месторождения непосредственно скважинами не вскрыт. Предполагается, что он представлен метаморфизованными кремнисто-глинистыми и песчаными породами, а также известняками. Глубина его залегания оценивается в пределах 7–10 км.

Четвертичные отложения залегают на размытой поверхности палеогеновых пород и представлены песками, глинами, супесями и суглинками с включениями гальки и гравия. В верхней части разреза наблюдаются прослой торфа. Мощность четвертичных отложений изменяется от 60 до 145 м.

В тектоническом отношении Ямбургское месторождение приурочено к крупной положительной структуре – Ямбургскому мегавалу, который вытянут в северо-восточном направлении. Протяженность мегавала составляет около 150 км, а его максимальная ширина достигает 65 км.

В пределах мегавала выделяется ряд структур более низкого порядка, среди которых Северо-Анерьяхская, Лымбарская, Анерьяхская, Мало-Ямбургская, Ямбургская и Южно-Ямбургская структуры.

Мало-Ямбургское, Ямбургское и Хасырейское поднятия осложняют Ямбургское куполовидное поднятие. (Аветов Н.Р., Якушев В.С., 2017)

Характерной особенностью геологического строения месторождения является наличие дизъюнктивных нарушений в нижней части разреза. Они преимущественно развиты в доюрских породах платформенного чехла, однако отдельные разломы распространяются и на более молодые меловые отложения. (Отчет ТО..., 2012)

Литолого-стратиграфическая характеристика

Осадочный чехол Ямбургского месторождения представлен породами мезозойского и кайнозойского возраста, среди которых основную роль играют терригенные отложения.

Наиболее важными с точки зрения нефтегазоносности являются отложения неокомского и апт-сеноманского возраста, представленные чередованием песчаников, алевролитов и аргиллитов.

Апт-сеноманская толща связана с осадками покурской свиты, которая характеризуется значительной мощностью и сложным литологическим строением. Породы свиты представлены преимущественно песчаниками, алевролитами и глинистыми породами. Толщина этой толщи составляет от 830 до 990 м.

Неокомские отложения характеризуются значительной фациальной изменчивостью. Песчаные пласты часто имеют линзовидное строение и неравномерно распространены по площади месторождения. В восточной части структуры преобладают песчаные фации, тогда как в западной части разрез представлен преимущественно глинистыми породами. (Проект разработки..., 1997)

Газоносность месторождения

Согласно современному нефтегазогеологическому районированию, Ямбургское месторождение расположено в пределах Надымского нефтегазоносного района Надым-Пурской нефтегазоносной области.

Газоносность установлена в широком стратиграфическом диапазоне – от сеноманских отложений верхнего мела до среднеюрских пород. Промышленное значение имеют несколько нефтегазоносных комплексов: апт-сеноманский; неокомский; ачимовский; ниже-среднеюрский. (Годовой геологический..., 2006)

Залежи углеводородов залегают на глубинах от 1450 до 3500 м. Основные запасы газа сосредоточены на глубинах 2450–3200 м. (рис. 2)

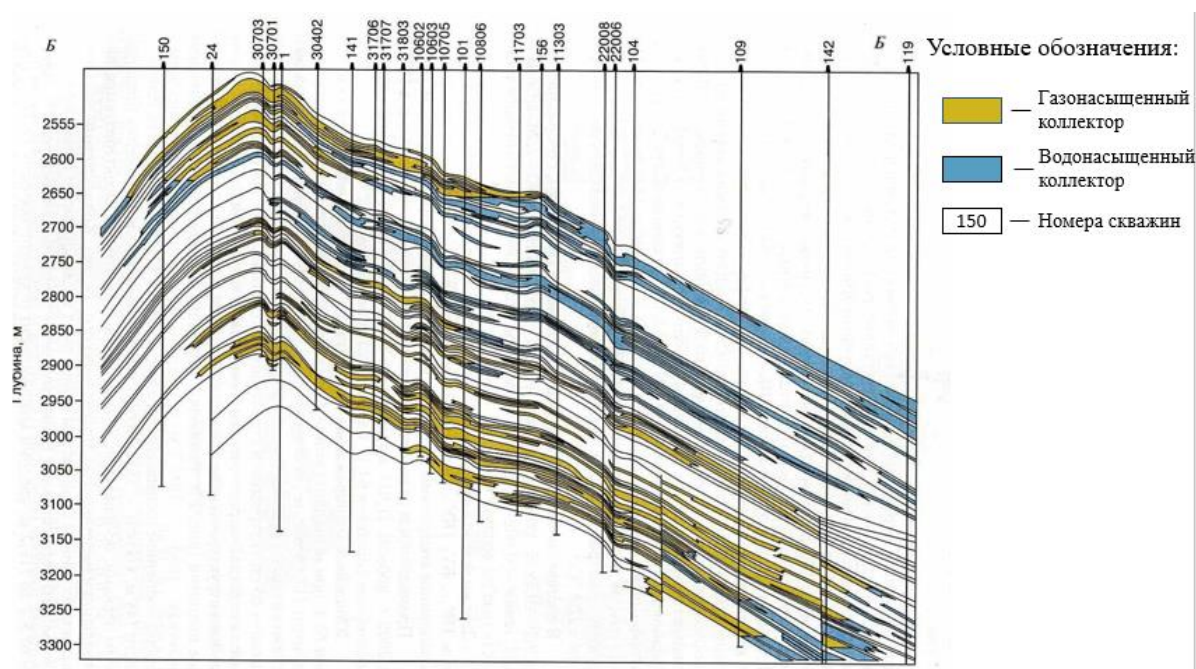


Рис. 2. Геологический разрез Ямбургского месторождения. (Фондовые материалы..., «Севергазгеофизика»)

Коллекторы представлены преимущественно песчаниками и алевролитами, обладающими благоприятными фильтрационно-емкостными свойствами. Залежи газа формируются в ловушках структурного и литологического типов.

По химическому составу природный газ Ямбургского месторождения является метановым. Содержание метана в газе достигает 90–92%. В составе газа также присутствуют этан, пропан, бутан, а также небольшие количества углекислого газа и азота. Средний состав добываемого пластового газа: Метан (СН₄) – 99,19%, Этан (С₂Н₆) – 0,08%, Пропан (С₃Н₈) – отсутствует (ОТС. / 0,00%), Азот и редкие газы (N₂⁺ редкие) – 0,72%, Углекислый газ (СО₂) – 0,01% (Годовой..., 2007)

Ямбургское месторождение представляет собой крупную газоносную структуру, приуроченную к Ямбургскому мегавалу Западно-Сибирской синеклизы. Геологический разрез месторождения сложен мощной

толщей мезозойско-кайнозойских терригенных отложений, перекрывающих палеозойский фундамент. (Аветов Н.Р., Якушев В.С., 2017)

Основные залежи углеводородов связаны с песчаными коллекторами апт-сеноманского и неокомского нефтегазоносных комплексов. Газоносность месторождения характеризуется значительным стратиграфическим диапазоном и сложным фаціальным строением продуктивных пластов. Полученные результаты можно использовать при преподавании профильных дисциплин у студентов геологов (Машкова 2007).

Таким образом, особенности тектонического строения, литолого-стратиграфического разреза и условий осадконакопления сыграли ключевую роль в формировании крупных газовых залежей Ямбургского месторождения, что определяет его высокую промышленную значимость.

Библиографический список

1. Аветов Н.Р., Якушев В.С. Распространение и особенности заколонных газопроявлений на Ямбургском нефтегазоконденсатном месторождении / Газовая промышленность. 2017. № 6 (753).
2. Атлас «Геология и нефтегазоносность Ямало-Ненецкого автономного округа»: 2002;
3. Годовой геологический отчет за 2003 год. ООО «Ямбурггаздобыча», 2006. - 198 с.
4. Мамаев А.В. Инвестиционный замысел реконструкции и технологического перевооружения объектов добычи газа на период 2016 – 2020 ГГ. Том 1. – пос. Развилка, 2014. - 131 с.
5. Отчет ТО ЯмбургГазДобыча «Подсчет геологических запасов нефти и газа Ямбургского месторождения», 2012;
6. Проект разработки сеноманской залежи Ямбургского газоконденсатного месторождения. – М., 1997. - 124 с. ВНИИГАЗ, 1997, 343 с.
7. Фондовые материалы геологического отдела «Севергазгеофизика», ООО «Газпром георесурс»;
8. Машкова Е.А. Формирование профессиональной компетентности выпускников нефтяных вузов // Альманах современной науки и образования. 2007. № 1. С. 159-161.

© Лукманова М.Р., Машкова Е.А., 2026

УДК 501.55

М.М. Михненко,^{1,2}

С.А. Дьякова²,

¹Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

²Институт геологии УФИЦ РАН, г. Уфа

Научный руководитель: Н.Д. Сергеева,

к. г.-м. н., ведущий научный сотрудник, Институт геологии УФИЦ РАН, г. Уфа

СЕДИМЕНТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВЕРХНЕГО ВЕНДА В СКВАЖИНЕ 40 КРАСНОУСОЛЬСКАЯ (ШКАПОВО-ШИХАНСКАЯ ВПАДИНА, ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКАЯ ПЛАТФОРМА)

Аннотация. Проведено седиментологическое изучение образцов керна терригенных пород верхнего венда, вскрытых скважиной 40 Красноусольская, определены обстановки осадконакопления для старопетровской, салиховской и карлинской свит верхнего венда, построена кривая изменения уровня моря.

Ключевые слова: верхний венд, скважина 40 Красноусольская, седиментология, обстановки осадконакопления.

SEDIMENTOLOGICAL FEATURES OF UPPER VENDIAN TERRIGENOUS DEPOSITS IN BOREHOLE 40 KRASNOUSOLSK (SHKAPOVO-SHIKHANOVNO DEPRESSION, EAST-EUROPEAN PLATFORM)

Abstract. A sedimentological study of Upper Vendian terrigenous rock core samples recovered by Borehole 40 Krasnousolskaya was conducted. Sedimentation environments for the Upper Vendian Staropetrovskaya, Salikhovskaya, and Karlinskaya formations were determined, and a sea level change curve was constructed.

Keywords: Upper Vendian, Borehole 40 Krasnousolsk, sedimentology, sedimentation environments.

В вендских отложениях Шкапово-Шиханской впадины зафиксированы многочисленные нефтепроявления, позволяющие положительно оценить нефтегазоносность вендских отложений Волго-Уральской области (Башкова, Карасева, 2023 и ссылки там же). Не менее важен вопрос фундаментального исследования геологической истории региона и взаимоотношения Восточно-Европейской платформы (ВЕП)

со складчатым Уралом. Данная территория характеризуется неравномерной изученностью из-за недостаточности бурения на платформе и слабой обнаженности венда на Урале. Фациальные реконструкции позволяют делать прогнозы строения и латеральной изменчивости слоев, перспективных на углеводороды, а также показать особенности развития осадочного бассейна.

Скважина 40 Красноусольская расположена к югу от пос. Красноусольский Гафурийского района Республики Башкортостан, в тектоническом отношении находится в южной части Бельской депрессии Предуральяского краевого прогиба. Детальное описание разреза скважины опубликовано в (Сергеева, Солодова 2020). Вскрытые данной скважиной верхневендские отложения по облику и составу приближены к их возрастным аналогам на Южном Урале и соответствуют молассовым отложениям, сформированным в процессе развития Тиманского орогена (Пучков, 2010).

Основной материал для исследования – образцы керн, отобранные из коллекции Н.Д. Сергеевой (коллекция хранится в ИГ УФИЦ РАН, г. Уфа). Проведено литолого-седиментологическое описание пород с построением седиментологической колонки, определены фации и реконструированы колебания уровня моря (рис. 1). Для интерпретации седиментологических данных использована методика, описанная в (Шишлов, 2024). Дополнительно был проведен анализ данных ГИС в соответствии с (Муромцев, 1984) и шлама.

Старопетровская свита (V_{2sp}) в интервале глубин 3040–3046.5 м представлена аргиллитами темно-серыми, тонко-слоистыми. Такие слои формировались ниже базиса штормовых волн, в наиболее удаленных от берега обстановках накопления глубоководных илов внешнего рампа. Здесь из взвесей осаждались алевропелитовые частицы. Горизонтальная слоистость отражает изменения соотношений во взвесах пелитовых и алевритовых частиц (Шишлов, 2024).

Следующий интервал – 2880–2890 м – представлен чередованием песчаников и аргиллитов с пологой косой и волнистой слоистостью, а также текстурами оползания; гранулометрический максимум представлен в нижней части интервала. Данные отложения соответствуют условиям высокодинамичного внутреннего рампа в зоне подводных песчаных валов и межваловых депрессий. Изменение интенсивности волнений приводили к попеременному накоплению песчаных и алевропелитовых отложений, формируя их линзовидно-полосчатое чередование.

Интервал глубин 2647–2657 м представлен алевролитами с прослоями аргиллитов и мелкозернистых песчаников, что также свидетельствует об низкодинамичной обстановке внешнего рампа, аналогичной первому интервалу.

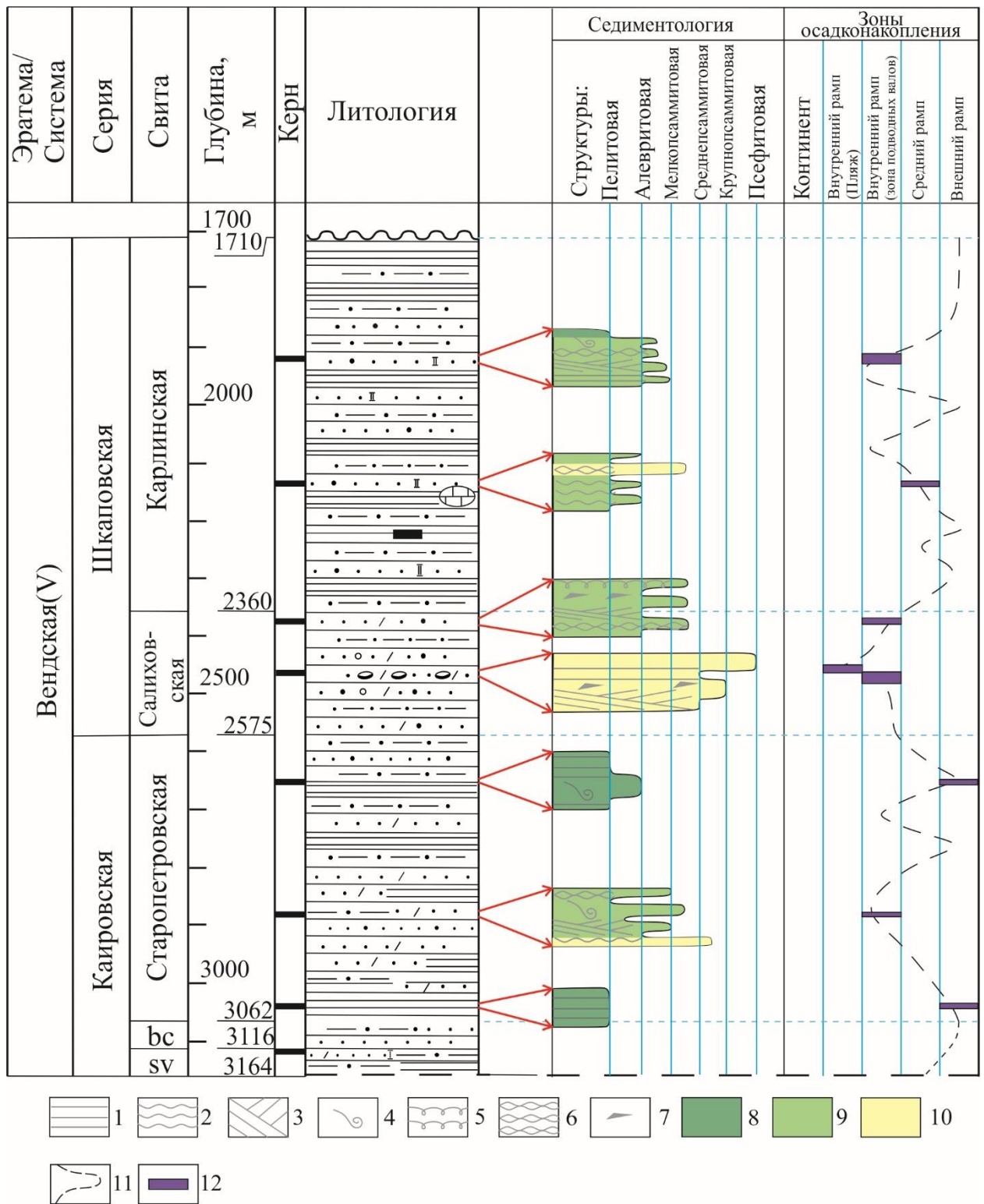


Рис. 1. Литолого-стратиграфическая колонка верхневендских отложений в скважине 40 Красноусольская (Сергеева, Солодова, 2020), седиментологический разрез и обстановки осадконакопления (составлено автором)

Условные обозначения: 1–3 – слоичатость: 1 – горизонтальная, 2 – волнистая, 3 – косая; 4–5 – текстуры: 4 – оползания, 5 – просядок; 6 – линзовидно-полосчатое чередование; 7 – глинистые интракласты; 8–10 – осадочные породы: 8 – аргиллиты и глинистые алевролиты, 9 – чередование глинистых алевролитов и песчаников, 10 – песчаники; 11 – кривая трансгрессий и регрессий (составлена по данным ГИС); 12 – обстановки осадконакопления.

Салиховская свита (V_{2sl}). Интервал глубин 2462–2472 м представлен разнозернистыми песчаниками с горизонтальной и косой слоичатостью, редкими глинистыми прослоями и интракластами. Верхняя часть

интервала представлена пестроцветными и красноцветными конгломератами. Песчаники накапливались в условиях динамичного мелководья (внутренний рамп), появление в разрезе конгломератов свидетельствует о максимальной регрессии и, вероятнее всего, является признаком обстановки пляжа и близости источника сноса.

Интервал глубин 2371–2381 м представлен чередованием песчаников мелко-среднезернистых и алевролитов с редкими глинистыми прослоями, с косой и волнистой слоичатостью. В верхней части разреза отмечены текстуры просадок. Эти отложения формировались в высокодинамичной мелководной обстановке внутреннего рампа, зон песчаных валов.

Карлинская свита (V₂kr). Интервал глубин 2131–2142 м представлен в основном линзовидно-полосчатым чередованием алевролитов и аргиллитов, реже отмечаются прослойки мелкозернистых песчаников. Преобладает пологоволнистая слоичатость. Накопление данных отложений происходило в удаленной от берега морской обстановке (средний рамп), подверженной действию течений с сильной волновой компонентой.

Интервал глубин 1914–1924 м представлен чередованием алевролитов глинистых и песчаников мелкозернистых, в верхней части интервала появляются аргиллиты. Отмечена косая и линзовидно-волнистая слоичатость, а также текстуры оползаний. Данные отложения сформировались в высокодинамичной мелководной обстановке внутреннего рампа, в зоне песчаных валов и межваловых депрессий. Появление аргиллитов в верхней части разреза свидетельствует о трансгрессивной тенденции.

Таким образом, изученная территория испытывала максимальное погружение во время накопления отложений старопетровской свиты, в то время как сахиновская свита характеризуется максимальной регрессией. В карлинское время мы снова видим трансгрессивную тенденцию, дальнейшее развитие верхневендского бассейна восстановить невозможно в связи с размывом вендских отложений в раннепалеозойский перерыв.

Благодарности: Работа выполнена в соответствии с планами научно-исследовательских работ Института геологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, г. Уфа (тема гос. задания FMRS-2025-0016).

Библиографический список

1. Башкова С.Е., Карасева Т.В. Прогноз нефтегазоносности рифей-вендских отложений Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. – Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Пермь, 2023. – 190 с.
2. Муромцев В.С. Электрометрическая геология песчаных тел – литологических ловушек нефти и газа. – Недра, Ленинград, 1984 г. – 260 стр.
3. Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. – 280 с.
4. Сергеева Н.Д., Солодова С.А. Литолого-петрографическая характеристика и стратиграфическое расчленение допалеозойских отложений в разрезе скважины 40 Красноуфимская (Предуральский краевой прогиб) // Геологический вестник. – 2020. – № 3. – С. 55-67.
5. Шишлов С.Б. Атлас циклотем юры – нижнего мела Западной Сибири. – СПб.: ЛЕМА, 2024. – 191 с.

© Михненко М.М., Дьякова С.А., Сергеева Н.Д., 2026

УДК 501.55

С.К. Мустафин,

доктор. геол.-мин. наук, профессор Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, академик РАН,

РЕЦИКЛИНГ ТЕХНОГЕННОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКИ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

Аннотация. Рассматриваются вопросы недропользования в контексте реализации стратегии циркулярной экономики. Анализируются возможности рециклинга техногенного минерального сырья как инструмента циркулярной экономики горного производства в условиях растущего дефицита сырья и экологических рисков.

Ключевые слова. Циркулярная экономика горного производства, техногенное минеральное сырьё, рециклинг отходов.

S.K. Mustafin,

Dr. of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Ufa University of Science and Technology, Ufa, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences,

RECYCLING OF TECHNOGENIC MINERAL RAW MATERIALS AS A TOOL FOR THE CIRCULAR ECONOMY OF MINERAL RESOURCES

Abstract. The article discusses the issues of subsoil use in the context of implementing the circular economy strategy. It analyzes the possibilities of recycling technogenic mineral raw materials as a tool for the circular economy of mining in the context of growing resource scarcity and environmental risks.

Keywords. Circular economy of mining, technogenic mineral raw materials, waste recycling.

Любое современное производство как и динамично растущее потребление связано с использованием ресурсов и оказывает техногенное воздействие на все без исключения компоненты окружающей среды.

Первым проблему рационального и эффективного использования природных ресурсов предпринял американский экономист Кеннет Юарт Боулдинг, предложивший концепцию экономики замкнутого цикла. (Бик С., 2025).

На Шестом форуме "Ресурсы для будущего" (Resources for the Future) 8 марта 1966 года в Вашингтоне Кеннет Ю. Боулдинг (Kenneth Ewart Boulding) представил эссе, радикально изменившее понимание экономических процессов развития общества.

"Экономика грядущего космического корабля Земля" (The Economics of the Coming Spaceship Earth) была предложена тогда, когда переосмысление отношений человека и природы стало насущной необходимостью (Kenneth Ewart Boulding, 1966).

«Экономика космонавта» или «Замкнутая система будущего базируется основывается на ограниченных ресурсах, циклических процессах, качественном развитии, рациональном управлении, минимизации отходов и поддержании баланса. Человек должен найти свое место в "циклической экологической системе, способной к непрерывному воспроизводству материальной формы, хотя она не может избежать наличия входов энергии".

Д. Медоуз (Donella H. Meadows) с соавторами в своей работе «Пределы роста» в 1972 году предложили модель мирового развития, при условии сохранения существующих на тот момент темпов прироста населения, промышленного и сельскохозяйственного производства, нерационального использования невозобновимых природных ресурсов, загрязнения окружающей среды [Donella H. Meadows et al. 1972]. Вывод – человечество уверенно идет к катастрофе, материальный рост не может продолжаться до бесконечности на физически ограниченной планете.

Этот вывод был подтвержден с небольшой корректировкой отдельных показателей в последующих исследованиях, проведенных в 1992 году (20 лет спустя) и 2002 году (30 лет спустя) (Limits to Growth, 2004).

Циркулярная экономика содержит потенциал множества положительных эффектов развития. Однако, переход к данной модели предполагает осуществление радикальных изменений и внедрение передовых технологий.

Барьерами, замедляющими внедрение принципов циркулярной экономики являются: нормативно-правовые, политические, управленческие, социальные, логистические, структурные (таблица 1) ((таблица 1).

Таблица 1

Барьеры, препятствующие внедрению циркулярной экономики, и способы их преодоления

(Амирова Н. Р. и др., 2021)

Сфера	Существующие барьеры	Способы преодоления
Финансовая и экономическая	<ul style="list-style-type: none"> – Необходимость в большом объеме инвестиций – Низкий спрос на продукцию циркулярной экономики – Большая часть экономических агентов ведет деятельность в рамках линейной модели – При производстве продукции не учитываются социальные и экологические экстреналии 	<ul style="list-style-type: none"> – Зеленые финансы – Социально-ответственное финансирование – Государственная поддержка
Институциональная	<ul style="list-style-type: none"> – Слабая осведомленность о концепции устойчивого развития – Негативное отношение большинства экономических агентов к большому риску – Преобладание права пользования над правом владения 	<ul style="list-style-type: none"> – Повышение осведомленности людей о возможностях ремонта и модификации продукции – Экономика совместного использования – Маркировка товара
	<ul style="list-style-type: none"> – Необходимость перепроектирования большинства производимых товаров 	<ul style="list-style-type: none"> – Сквозные технологии – Государственная поддержка

Технологическая	– Создание и внедрение более экологичных технологий – Обеспечение прозрачной цепочки создания ценности – Увеличение жизненного цикла товаров	
-----------------	--	--

Перечисленные подходы особенно актуальны в условиях прогнозируемого дефицита природных ресурсов, которые невозможно воссоздать или заменить. Месторождения полезных ископаемых в отличие от остальных природных ресурсов невозобновляемы.

В таблице 2 отражены результаты прогнозирования состояния сырьевых и людских ресурсов мира.

Таблица 2

Прогнозируемое состояние сырьевых и людских ресурсов (Экономика замкнутого цикла, 2021)

2017 год	Через 10-30 лет	После 2040 года*
Нерациональное производство и потребление	Скачок спроса на ресурсы, наращивание добычи	Угроза экосистемам, будущим поколениям
<ul style="list-style-type: none"> - 35% материалов в экономике <u>входит в состав продукции с коротким сроком годности</u> - текущие темпы добычи и обработки ресурсов – причина потери 90% биоразнообразия и 50% роста парниковых газов - 1/3 всех <u>продуктов питания</u> <u>попадает на мусорный полигон</u> - \$460 млрд/г. – <u>стоимость пригодной для носки, но выброшенной одежды</u> - только 8,6% материалов <u>возвращается в экономику.</u> 	<ul style="list-style-type: none"> - 75% инфраструктуры, которая будет создана к 2050 г., <u>еще не существует</u> - x2 использования и добычи ресурсов с 2017 г. по 2050 г. - x5 среднего класса в регионе АТР к 2030 году, всего в мире будет 5,6 млрд представителей среднего класса - 68% мирового населения проживает в городах к 2050 г. - 43 мегаполиса населением более 10 млн чел. к 2030 г. 	<ul style="list-style-type: none"> - нехватка ресурсов планеты для благополучия 9,9 млрд населения (2050г.), - истощены жизненно важные для производства ресурсы - 1,9-3,0. С° составит повышение глобальной температуры в 2040-2060 гг., что приведет к массовым природным катаклизмам - 70% составит к 2050 г. – губительно для здоровья человека и климата

На рис. 1 приведены уровни прогноза истощения первичного и рециклинга вторичного минерального сырья.

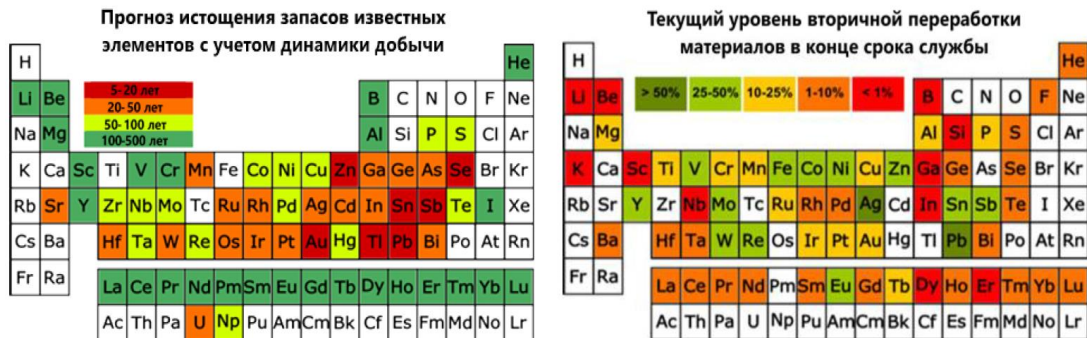


Рис. 1. Прогнозируемые уровни истощения первичного и рециклинга вторичного минерального сырья (Экономика замкнутого цикла., 2021)

В качестве базовых принципов циркулярной экономики в горной промышленности Гурбанмырадов М. с соавторами (2024) выделяют:

1. Повторное использование и переработка отходов. Применение технологий переработки и повторного использования отходов добычи и переработки материалов позволяет значительно снизить количество отходов, а также сократить потребность в добыче новых ресурсов. Например, отходы, образующиеся при переработке руды, могут быть использованы в качестве строительных материалов или в других производственных процессах.
2. Экологически чистые технологии добычи. Внедрение новых технологий, таких как гидрометаллургия или биометаллургия, может существенно снизить нагрузку на окружающую среду. Эти методы более экологичны, требуют меньше воды и энергии, а также способствуют снижению образования токсичных отходов.

3. **Закрытые производственные циклы.** В горной промышленности можно создавать замкнутые циклы переработки материалов и оборудования, что позволяет значительно сократить потребность в новых ресурсах. Это может включать переработку металлических и пластиковых частей оборудования, а также использование вторичных материалов в производственных процессах.

4. **Цифровизация и инновации.** Цифровые технологии, такие как искусственный интеллект, Интернет вещей (IoT) и большие данные, могут помочь в оптимизации процессов добычи, управления отходами и прогнозирования потребностей в ресурсах. Это позволит более точно планировать добычу, минимизируя излишнюю нагрузку на экосистемы. (Гурбанмырадов М. и др., 2024).

Горнодобывающая промышленность ежегодно производит миллиарды тонн отходов: чем их больше, тем выше затраты недропользователя, риски для окружающей среды и населения. Отработанные материалы можно и нужно использовать, это даст возможность не только лучше заботиться о природе и местном населении, но и получить ценные ресурсы, способные принести предприятию дополнительную прибыль. Оценить объёмы образования отходов мировой горнодобывающей отрасли достаточно сложно. Они могут достигать 100 млрд т в год, из которых 10 % приходится на хвосты обогащения (Верхоzin С.С., 2025).

Подробные расчеты эксперты опубликовали в 2020 году в рамках инициативы Global Tailings Review. Они основывались на доступных данных, предоставленных горнодобывающими компаниями, охватывающими 30% мирового производства полезных ископаемых. Были учтены 1743 хвостохранилища, из которых 725 – действующие и; 3250 объектов в эксплуатации и 8500 закрытых. Хвостохранилища содержали 44,54 млрд м³ хвостов. Предполагалось, что при среднегодовом производстве отрасли отходов в объеме 2,52 млрд м³ к январю 2024 года цифра должна вырасти на 26% до 56,2 млрд м³. Для всей мировой горнодобывающей промышленности предполагаемый прирост составил 11,1 млрд м³ в год.

Добыча минерального сырья генерирует разное количество хвостов в зависимости от типа полезного ископаемого, его содержания, применяемой технологии. Больше всего хвостов производят предприятия по добыче и переработке меди – 46%. Далее следует золото – 21%, железо – 9%, уголь – 8%. Эти данные в исследовании – за 2016 год, и с тех пор пропорции могли измениться, принимая во внимание развитие современных технологий, электротранспорта, рост спроса на металлы и другие факторы (Верхоzin С.С., 2025).

Циркулярная экономика в контексте недропользования – это модель производства и потребления, минерального сырья которая предполагает повторное использование, переработку и минимизацию отходов в процессе освоения природных ресурсов недр. Недропользование является важной сферой для реализации концепции циркулярной экономики, так как оно связано с образованием большого количества отходов (по некоторым оценкам, более 90% всех отходов страны). Предлагаются следующие принципы формирования организационно-экономического механизма циркулярного недропользования (табл. 3.) (Eremeeva, et. al., 2023).

Таблица 3

Принципы формирования организационно-экономического механизма циркулярного недропользования (Eremeeva, et. al., 2023).

Принцип	Комментарий
1. Сбалансированное использование побуждающих и ужесточающих методов развития циркулярной экономики	Организационно-экономический механизм циркулярного недропользования по характеру воздействия должен быть не только стимулирующим, но и жестким (подавляющим)
2. Снижение экологических рисков недропользования	Циркулярное недропользование, в отличие от нециркулярного, должно способствовать уменьшению негативного воздействия на все компоненты окружающей среды
3. Сохранение естественных (природных) запасов полезных ископаемых и использование вторичного минерального сырья	Недропользование, основанное на применении принципов циркулярной экономики, предполагает сбережение природных запасов полезных ископаемых, а также развитие отрасли в части использования вторичных минеральных ресурсов
4. Обеспечение экономической эффективности циркулярного недропользования	Предприятиям будет выгодно развивать циркулярное недропользование, если получаемые результаты будут не только покрывать, но и превосходить все понесенные затраты

В Перечень основных видов стратегического минерального сырья в Российской Федерации, утверждённый распоряжением Правительства РФ от 30 августа 2022 года № 2473-р. включен 61 вид следующих полезных ископаемых: нефть; природный газ; гелий; уран; марганец; хром; титан; бокситы; медь; свинец; сурьма;

олово; цинк; никель; молибден; вольфрам; кобальт; редкие металлы (литий, рубидий, цезий, бериллий, скандий, редкоземельные металлы – иттрий, лантан, церий, празеодим, неодим, самарий, европий, гадолиний, тербий, диспрозий, гольмий, эрбий, тулий, иттербий, лютеций), индий, галлий, германий, цирконий, гафний, ванадий, ниобий, тантал, рений); золото; серебро; платиноиды (рутений, родий, палладий, осмий, иридий, платина); алмазы; графит; фосфаты (апатитовые руды); соли калийные; шпат плавиковый; особо чистое кварцевое сырьё; подземные воды.

Перечень подлежит актуализации не реже чем раз в каждые 3 года. В предыдущем перечне, который использовался 25 лет с 1996 г., для сравнения, числилось 29 позиций (видов минерального сырья).

Все ведущие страны-производители минерального сырья формируют списки критических видов полезных ископаемых.

Так, например, в странах Европейского Союза Закон о критически важном сырье (Critical Raw Material Act, CRMA), вступивший в силу в мае 2024 года, включает список из 34 критических материалов, в том числе 17 стратегических видов сырья.

Список критических минералов США формируется Геологической службой США (USGS) в соответствии с законом об энергетической безопасности 2020 года. В 2025 году в список критических минералов США вошли 60 минералов, включая 15 редкоземельных элементов.

Правительство Австралии по состоянию на 20 февраля 2024 года считало критическими 31 вид минерального сырья. Список критически важного сырья для Канады, опубликованный в 2024 году, включает 34 позиции.

В 2023 году правительство Индии обнародовало список стратегически важных для национальной экономики минеральных ресурсов, который включал 24 вида сырья.

Особенности размещения месторождений критического и стратегического минерального сырья на территории РФ показано на рис. 2. Основными регионами производителями этих видов минеральных ресурсов являются: Дальневосточный, Сибирский, Северо-Западный и Уральский федеральные округа (ФО).

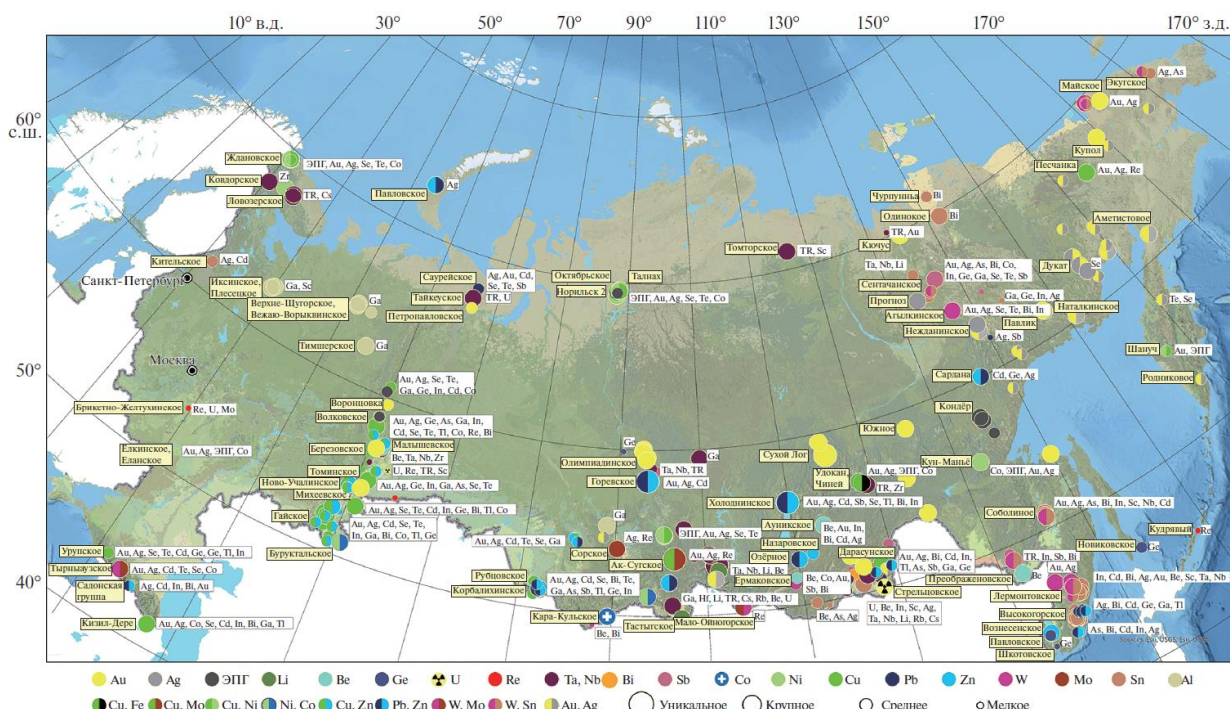


Рис. 2. Рудные месторождения РФ, являющиеся источниками критического минерального сырья для цветной металлургии и редкометалльной промышленности. Их руды как примеси содержат попутные благородные, редкие и рассеянные металлы и полуметаллы – они перечислены на белых флажках; для редкометалльных (Be, Li, Zr, Re) месторождений указаны и основные, и попутные элементы. Месторождения Au всегда несут попутное Ag. Размер цветного значка соответствует величине запасов основного компонента руд (Викентьев И. В., 2023).

Автором составлена таблица, отражающая соотношение объёмов добычи полезных компонентов из первичных руд горной добычи и рециклинга техногенного минерального сырья в структуре недропользования РФ (табл.4). Практически все виды минерального сырья относятся к стратегическим и входят в (Перечень, 2022).

Использование минерально-сырьевой базы РФ (составлено по данным Госдоклада МПР РФ, 2024 г.)

Природные и техногенные источники ценных компонентов минерального сырья	Годы		
	2021г.	2022г.	2023г.
Железные руды, млн т			
Добыча руды в том числе:	376	329,7	322,1
• из недр	368,9	324,1	315,3
• из техногенных месторождений	0,01	0	0
• из отвалов	7,1	5,6	6,8
Медь, тыс. т			
Добыча, в том числе:	1 155,4	1 128,4	1 134,4
• из недр	1 146,8	1 117,8	1 115,5
• из техногенных месторождений	8,6	10,6	18,9
Никель, тыс. т			
Добыча, в том числе:	271,3	285,7	266,9
• из недр	266,3	278,2	260,2
• из техногенных месторождений	5	7,5	6,7
Кобальт, тыс. т			
Добыча, в том числе:	11,93	12,65	11,56
• из недр	11,53	12,2	11,15
• из техногенных месторождений	0,4	0,45	0,41
Свинец, тыс. т.			
Добыча, в том числе:	288,8	327,1	343,6
• из недр	281	318,1	332,8
• из техногенных образований	7,8	9	10,8
Цинк, тыс. т.			
Добыча, в том числе:	497,6	514,1	661,7
• из недр	460,9	505,1	655,7
• из отвалов	36,7	9	6
Олово, тонн			
Добыча 1, в том числе:	6 267	10 120	11 577
• из недр	6 267	6 372	7 895
• из техногенных образований	0	3 748	3 682
Вольфрам тонн, WO_3			
Добыча, тонн WO_3 , в том числе:	5 318	4 745	3 860
• из недр	3 033	2 788	2 834
• из техногенных образований	2 285	1 957	1 026
Цирконий, тыс. т ZrO_2			
Добыча, тыс. т ZrO_2 , в том числе:	22,8	26,8	28,8
• из недр	22,8	26,8	28,8
• из техногенных месторождений	0	0	0
Золото, тонн			
Добыча, в т. ч.:	439,1	422,9	479,27
• из недр	438,4	421,8	478,56
• из техногенных месторождений	0,7	1,1	0,71
Серебро, тонн			
Добыча, в том числе:	2 309,1	2 608,7	2 595,2
• из недр	2 304,5	2 595,1	2 563,3
• из техногенных месторождений	4,6	13,6	31,9
Платиноиды (платина+палладий), тонн			
Добыча из недр:	134,9	134,9	136,8
Добыча из техногенных месторождений	4,3	7,0	6,8
Плавленый шпат, тыс. т			
Добыча, в том числе:	76	114	70

• из недр	76	76	56
• из отвалов	0	38	14

На территории Дальневосточного федерального округа (ДФО) расположены предприятия добычи и переработки минерального сырья – процессами, связанными с формированием техногенных месторождений. В Хабаровском крае действуют «Солнечный» и «Многовершинный» ГОКи в Приморском крае «Хрустальненский ГОК» в Еврейской автономной области «Хинганский ГОК», в Магаданской области «Карамкенский ГОК» (Грехнев Н.И, 2014).

В настоящее время крупными по объёмам и комплексными по составу техногенными месторождениями являются отходы процессов обогащения сосредоточенные в хвостохранилищах Солнечного, Красногорского, Дальнегорского, Хрустальненского, Ярославского, Многовершинного, Хинганского и других ГОКов Дальневосточного федерального округа (табл. 4).

Таблица 5

Горно-экономическая и экологическая характеристика хвостохранилищ наиболее крупных горных предприятий южной части Дальнего Востока РФ (Грехнев Н.И, 2014).

Горнопромышленные предприятия, место расположения	Параметры хвостохранилищ		Главные металлы и спутники. Запасы (млн т) и содержания полезных металлов, (%)
	Кол-во/объемы, млн. т	Площадь, тыс. га	
Кавалеровский район (Приморье)	6/8,6	7,6	Олово – 47,37 (С–0,18); медь – 19,46 (С–0,11); свинец – 32,4 (0,05); цинк – 95,2, (0,12); (а также – Ag, Au, Rb, Cs)
«Дальполиметалл», (Приморье)	5/>100	7,0	Свинец, цинк, серебро, висмут, (также – As, Cd, Cu, Co)
Химкомбинат «БОР» (Приморье)	2/>100	100	Бор (а также – Zn, Pb и др.)
Лермонтовская ГРК (Приморье)	2/9,2	15,2	Вольфрам, цинк, медь, свинец, кадмий
Солнечный ГОК (Хабаровский кр.)	3/30,0	1,5	Олово, медь, вольфрам, свинец, (Bi, Sb, As, Au и TR)
Ярославский ГОК (Приморье)	3/16,8	2,94	Флюорит-2401 (С–14,31); Be ₂ O – 19,5 (0,116); Li ₂ O – 99,44 (0,59); Rb ₂ O – 53,2 (0,32); Cs – 2,5 (0,015)
Хинганский ГОК (Еврейская АО)	2/3,95	0,54	Олово, фтор
«Многовершинный ГОК», (Хабаровский кр.)	1/>15,0	0,65	Золото, серебро (25–50 г/т)
Рудник Покровский (Амурская обл.)	1/2,3 (?)	0,102	Золто, серебро (>50 г/т)
Всего	25/292	02,8 га –	
<i>Примечание:</i> жирным шрифтом указаны основные добываемые полезные компоненты			

Суммарные запасы отвальных песков и содержащихся в них основных металлов и попутных компонентов согласно учету геолого-маркшейдерской службы комбината по состоянию на 01.01. 2002 г. по этим хвостохранилищам приводится в табл. 6 (Грехнев Н.И, 2014).

Как видно из таблицы 6, помимо гигантских запасов мелко фракционированных песков в них содержится крупные запасы ценных металлов, таких как медь, олово, свинец, вольфрам, серебро и др., что позволяет оценивать эти хвостохранилища как крупные комплексные техногенные месторождения многих стратегических видов минерального сырья.

Содержание и запасы ценных компонентов в хвостах предприятий ДФО (Грехнев Н.И., 2014).

Полезные компоненты	Содержание в хвостах, %	Запасы, тыс.т.
Пески	–	25 249,4
Олово	0,183	46,393
Медь	0,28	70,7
Цинк	0,156	39,4
Свинец	0,188	47,9
Вольфрам	0,015	6,7
Висмут	0,013	5,9
Серебро	115,8 г/т	0,34

Техногенные месторождения представляют собой новый для Дальнего Востока вид минерального сырья, формирующийся в процессе горнопромышленного производства. Они привлекают крупными запасами различных полезных компонентов, в т.ч. цветных, редких, благородных и других металлов.

Решение острой экологической проблемы хвостов обогащения требует летального изучения их обводнен-

ности и минералогического состава с целью консервации хвостохранилищ для прекращения их функционирования их в виде активных источников химического загрязнения экосистем, а также сохранения техногенных месторождений для перспективной переработки в качестве техногенных месторождений (Грехнев Н.И., 2014).

Мониторинг технологических свойств разнотипного золотосодержащего минерального сырья необходим для успешной реализации ресайклинга золота ввиду его неоднородности во всём диапазоне от макро- до наноуровня.

Необходимо создание региональных банков минералогических данных технологических особенностей самородного золота разнотипного природного и техногенного минерального сырья. Такой подход оптимизирует управление процессами ресайклинга как уже имеющегося техногенного сырья, так и способен обеспечить возможность стратегического прогнозирования формирующегося и потенциального (Мустафин С.К. и др. 2017).

Ресайклинг техногенного минерального сырья как эффективный инструмент стратегии формирующейся современной циркулярной экономики недропользования использующий инновационные подходы и передовые технологии, основанные на отечественных разработках, наряду с коммерческой выгодой существенно снижает многочисленные экологические риски горного производства, чем способствует созданию позитивного имиджа территории, обеспечивая реализацию политики устойчивого развития, как старых горнорудных районов, так и регионов нового освоения в первую очередь территорий нового освоения Арктической зоны РФ.

Библиографический список

1. Амирова Н. Р., Саргина Л. В., Кондратьева Я. Э. Циркулярная экономика: возможности и барьеры // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Общественные науки. 2021. № 3. С. 187–201.
2. Верховин С.С. Техногенное сырьё. Золотодобыча. № 4 (317), апрель 2025 года. АО "Иргиредмет", 2025.
3. Викентьев И. В. Критическое и стратегическое минеральное сырьё в Российской Федерации. Геология рудных месторождений, 2023, том 65, № 5, с. 463–475.
4. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2023 году. М.: Министерство природных ресурсов и экологии РФ. 2024. – 716 с.
5. Грехнев Н.И. Минеральные отходы горных предприятий –экономические и экологические проблемы недропользования в Дальневосточном регионе. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № 7 - С. 337-343.
6. Гурбанмырадов М., Бахтияров К., Беглимухаммедов Б. Циркулярная экономика в горной промышленности. Международный научный журнал «Символ науки» # 12-2-2 / 2024. – С. 43-44.
7. Мустафин С.К., Анисимова Г.С., Трифонов А.Н., Стручков К.К. Техногенное минеральное сырьё регионов недропользования: природа, состав и перспективы рационального использования. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2017. – С. 7-16.
8. Перечень основных видов стратегического минерального сырья в России утверждён распоряжением Правительства РФ от 30 августа 2022 года № 2473-р.
9. Экономика замкнутого цикла. Обзор международных подходов. Министерство экономического развития РФ, Департамент многостороннего экономического сотрудничества. 29 декабря 2021 года.

10. Eremeeva O. S., Mochalova L. A. (2023). Organisational economic mechanism of circular subsoil use. Journal of New Economy, vol. 24, no. 1, pp. 104–125.
11. Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows, Joigen Randers, and William W. Behrens III, The Limits to Growth. New York: Universe Books, 1972. – 205 p.
12. Kenneth Ewart Boulding, Concept of a closed-loop economy. Sixth Resources for the Future Forum on March 8, 1966 in Washington/
13. Limits to Growth: the 30-Year Update Donella Meadows, Jorgen Randers and Dennis Meadows Chelsea Green, White River Junction, VT, 2004, 368 pp.

© Мустафин С.К., 2026

УДК 501.55

И.С. Мухаметьянов,
магистрант 1 года обучения
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа
Научный руководитель: **В.Н. Никонов,**
канд. геол.-мин. наук, доцент
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

ВОСТОЧНЫЙ СЕКТОР СЫРЬЕВОЙ ПОЛИТИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Аннотация. В работе рассматривается формирование правовой архитектуры сырьевой политики Российской Федерации в восточном направлении, основанной на стратегических документах, таких как Энергетическая стратегия до 2035 года и Доктрина энергетической безопасности. Основное внимание уделяется модернизации инфраструктуры и диверсификации экспортных потоков в условиях геополитических изменений. Ключевые правовые документы, включая Федеральный закон №256-ФЗ, обеспечивают безопасность объектов топливно-энергетического комплекса и создают институциональную основу для переориентации товарных потоков на Азиатско-Тихоокеанский регион (АТР). Совершенствование законодательной базы способствовало синхронизации интересов государства и частных инвесторов через механизмы государственно-частного партнёрства. Геологические исследования показывают значительный ресурсный потенциал восточных регионов России, однако неравномерность его распределения требует развития инфраструктуры. Особое значение придаётся модернизации трубопроводных систем и портов, а также внедрению цифровых технологий управления поставками.

Ключевые слова. Правовая архитектура, сырьевая политика, энергетическая стратегия, инфраструктура, диверсификация, модернизация, государственно-частное партнёрство.

THE EASTERN SECTOR OF THE RAW MATERIALS OF THE RUSSIAN FEDERATION

Аннотация на английском языке. The paper examines the formation of the legal architecture of the raw materials policy of the Russian Federation in the eastern direction, based on strategic documents such as the Energy Strategy until 2035 and the Energy Security Doctrine. The main focus is on infrastructure modernization and diversification of export flows in the context of geopolitical changes. Key legal documents, including Federal Law No. 256-FZ, ensure the security of fuel and energy complex facilities and create an institutional framework for reorienting commodity flows to the Asia-Pacific region (APR). Improvement of the legislative framework has facilitated the synchronization of state and private investor interests through public-private partnership mechanisms. Geological research reveals significant resource potential in Russia's eastern regions, but its uneven distribution requires infrastructure development. Special emphasis is placed on modernizing pipeline systems and ports, as well as implementing digital supply chain management technologies. The strategic development involves coordination between federal authorities, regional administrations, and private investors to achieve goals of increasing the value-added product export share to 35-40% by 2030.

Ключевые слова на английском языке. Legal architecture, raw materials policy, energy strategy, infrastructure, diversification, modernization, public-private partnership.

В условиях современной геополитической трансформации особое значение приобретает развитие сырьевой политики Российской Федерации в восточном направлении. Правовая архитектура этого

направления формируется на базе стратегических документов, таких как Энергетическая стратегия до 2035 года и Доктрина энергетической безопасности. Эти документы определяют основные принципы диверсификации экспортных потоков и создают институциональную основу для переориентации на рынки Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР).

Ключевую роль в реализации политики играет модернизация инфраструктуры, включающая расширение трубопроводных систем и портовых мощностей, что регламентируется Комплексным планом модернизации магистральной инфраструктуры до 2024 года. Совершенствование законодательной базы, в том числе через механизмы государственно-частного партнёрства, позволило синхронизировать интересы государства и частных инвесторов.

Особое внимание уделяется правовому обеспечению безопасности объектов топливно-энергетического комплекса (ТЭК) и стимулированию освоения месторождений в Восточной Сибири и Дальнем Востоке через специальные налоговые режимы. Однако, несмотря на достигнутые успехи, сохраняются правовые коллизии и вызовы, требующие дальнейшего совершенствования законодательства.

Правовая архитектура сырьевой политики РФ в восточном направлении формируется комплексом стратегических документов, задающих долгосрочные ориентиры развития. Ключевыми среди них являются Энергетическая стратегия до 2035 года и Доктрина энергетической безопасности, устанавливающие принципы диверсификации экспортных потоков в условиях геополитических трансформаций. Как отмечают исследователи, «основными правовыми документами являются Доктрина энергетической безопасности Российской Федерации, Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года, Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года» [7, с. 16]. Эти акты создают институциональный каркас для переориентации товарных потоков на АТР. Инфраструктурная компонента политики регламентируется Комплексным планом модернизации магистральной инфраструктуры до 2024 года, предусматривающим расширение трубопроводных систем и портовых мощностей. Правовые механизмы безопасности объектов ТЭК, закреплённые в Федеральном законе №256-ФЗ, обеспечивают защиту критической инфраструктуры от внешних угроз. Совершенствование законодательной базы в 2014-2023 гг. позволило синхронизировать интересы государства и частных инвесторов через механизмы государственно-частного партнёрства. Эволюция нормативной среды демонстрирует поступательный переход от концептуальных положений к конкретным инфраструктурным проектам. Особое значение приобрели поправки в законодательство о недропользовании, стимулирующие освоение месторождений Восточной Сибири и Дальнего Востока. Введение специальных налоговых режимов для проектов в удалённых регионах стало катализатором инвестиционной активности. Однако сохраняются правовые коллизии между федеральным и региональным регулированием, затрудняющие реализацию крупных межрегиональных проектов. Недостаточная проработанность вопросов экологического сопровождения добычи в арктических широтах требует дальнейшей гармонизации законодательства с учётом принципов устойчивого развития.

Ресурсная база восточных регионов России представляет стратегический резерв национальной экономики, однако характеризуется выраженной пространственной неравномерностью. По данным геологических исследований, «начальные суммарные геологические ресурсы УВ оцениваются в 114 млрд. т н. э., открыто 155 месторождения нефти и газа» [1, с. 1]. Основные запасы сконцентрированы в юго-западной Якутии, Красноярском крае, Иркутской области и на сахалинском шельфе, что определяет приоритеты инфраструктурного развития. Динамика добычи углеводородов в 2014-2023 гг. показывает устойчивый рост, особенно выраженный на Сахалине и в Якутии, где введены в эксплуатацию новые месторождения. Однако коэффициент извлечения нефти на восточных месторождениях остаётся на 10-15% ниже среднероссийских показателей из-за сложных геологических условий. Модернизация технологий бурения и применение методов увеличения нефтеотдачи становятся ключевыми факторами наращивания добычи. Структура минерально-сырьевого комплекса дополняется значительными запасами угля, меди, никеля и редкоземельных металлов, востребованных на азиатских рынках. Развитие Эльгинского угольного месторождения и Быстринского ГОКа иллюстрирует успешную интеграцию сырьевого потенциала в экспортные цепочки. Тем не менее, уровень переработки сырья на месте остаётся недостаточным, что ограничивает добавленную стоимость. Главным вызовом остаётся транспортная недоступность многих перспективных районов, увеличивающая себестоимость добычи. Отсутствие круглогодичных автодорог к 65% месторождений Восточной Сибири вынуждает использовать авиационный транспорт, что удорожает логистику на 20-25%. Решение этой проблемы требует комплексных инвестиций в инфраструктуру.

Стратегическое развитие восточного сектора предполагает синхронизацию трёх компонентов: инфраструктурной экспансии, диверсификации рынков сбыта и технологической модернизации. Приоритетом является завершение строительства нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий океан» (ВСТО) и модернизация портовой инфраструктуры Приморья, позволяющей увеличить экспорт СПГ до 66 млн тонн к 2026 году. Параллельно идёт формирование новых транспортных коридоров, включая Северный морской путь как альтернативу традиционным маршрутам. Институциональные риски минимизируются через заключение долгосрочных контрактов с ключевыми потребителями АТР, такими как Китай и Индия, с привязкой к национальным валютам. Создание совместных предприятий с азиатскими компаниями (например, «Сила Сибири» с CNPC) снижает инвестиционные риски. Однако сохраняется зависимость от китайского рынка, на

который приходится свыше 40% экспорта углеводородов на восточном направлении. Оптимизация логистических цепочек требует внедрения цифровых платформ управления поставками и развития мультимодальных перевозок. Пилотные проекты по использованию блокчейна для отслеживания партий угля из Якутии в порты Посыет демонстрируют снижение транзакционных издержек на 12-15%. Параллельно необходима стандартизация экологических требований с основными импортёрами для снижения нетарифных барьеров. Перспективным направлением является углубление переработки сырья в припортовых зонах с созданием нефтехимических кластеров в Находке и Ванино. Реализация этих проектов в рамках ТОРов и СПВ позволит увеличить долю продукции с высокой добавленной стоимостью в экспорте до 35-40% к 2030 году. Ключевым условием успеха остаётся координация между федеральными органами власти, региональными администрациями и частными инвесторами.

Развитие восточного сектора сырьевой политики РФ представляет собой многоаспектную задачу, требующую комплексного подхода. Стратегическое развитие предполагает интеграцию трёх ключевых компонентов: инфраструктурной экспансии, диверсификации рынков сбыта и технологической модернизации.

Реализация намеченных планов включает завершение строительства нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий океан» и модернизацию портовой инфраструктуры Приморья, что позволит увеличить экспорт сжиженного природного газа до 66 млн тонн к 2026 году. Важную роль играет формирование новых транспортных коридоров, включая Северный морской путь, и внедрение цифровых платформ управления поставками.

Ключевым фактором успеха остаётся координация между федеральными органами власти, региональными администрациями и частными инвесторами. Особое внимание должно уделяться экологическим аспектам добычи и переработки сырья, а также гармонизации законодательства с принципами устойчивого развития. Это позволит не только повысить эффективность использования ресурсного потенциала восточных регионов, но и увеличить долю продукции с высокой добавленной стоимостью в экспорте до 35–40% к 2030 году.

Библиографический список

1. Григоренко Ю.Н., Маргулис Л.С., Кушмар И.А. Минерально-сырьевая база и перспективы развития центров нефтегазодобычи востока России // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2007. – № 2. – С. 2–5.
2. Караганов С.А. Восточный поворот 2.0 // Россия и АТР. – 2025. – № 2. – С. 148–161.
3. Медведева Л.М., Лаврентьев А.В. Стратегии транспортного развития Дальнего Востока и их реализация в новейшей истории России (2000-2015 гг.) // Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики. – 2015. – № 11. – С. 113–116.
4. Мищенко Я.В. Азиатско-тихоокеанский регион в международном энергетическом сотрудничестве России в XXI веке // Россия вчера, сегодня, завтра. – 2019. – № 4. – С. 24–28.
5. Сигитова М.А. Развитие топливно-энергетического комплекса Дальнего Востока России: состояние и перспективы // Ученые заметки ТОГУ. – 2017. – № 2. – С. 443–446.
6. Харчилава Д.Х. Управление внешнеторговой политикой России в нефтегазовой отрасли // Вестник евразийской науки. – 2025. – С. 1–11.
7. Щукина Т.В. Правовые проблемы регулирования топливно-энергетического и агропромышленного комплексов в условиях обновленной научно-технологической политики // Вопросы экономики и права. – 2022. – 9. – С. 15–19.

© Мухаметьянов И.С., Никонов В.Н., 2026

УДК 550.8.553.411.071

В.Н. Никонов

канд. геол.-мин. наук, доцент

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

О.В. Заболотская

АО «Якутскгеология», п. Усть-Нера, Саха-Якутия

БЕРЕНДЕЙСКИЙ РУДНО-РОССЫПНОЙ УЗЕЛ (ВОСТОЧНАЯ ЯКУТИЯ)

Аннотация. Берендейский рудно-россыпной узел в Верхне-Индибирском горно-промышленном районе (Восточная Якутия) имеет внушительные перспективы выявления крупных месторождений золота в окварцованных дайках и минерализованных зонах.

Ключевые слова. Золотое оруденение. Россыпи Перспективы. Минерализованные дайки и зоны.

BERENDEY ORE-PLACER UNIT (EASTERN YAKUTIA)

Annotation. The Berendej golden – placer field in the Upper Indigir Mining - Industrial District (East Yakutia) has impressive prospects for ore gold in silificated dykes and mineralized zones.

Keywords. Gold ore. Placers. Prospects. Mineralized dykes and zones.

Выделенный Никоновым В.Н. в 1990 г. Берендейский рудно-россыпной узел площадью более 300 км² расположен на левобережье р. Индигирки между левым бортом долины р. Бергеннях на юге и правым бортом долины р. Иньяли на севере, меридиональные границы узла примерно совпадают с руслами реки Хангалас и руч. Берендей.

В структурном отношении узел приурочен к осевой части Иньяли-Дебинского синклинария (ИДС) - крупнейшей складчатой структуры Верхояно-Колымской складчатой системы, рассеченной региональным разломом Буркандьи [7, 8]. Узел является составной частью **Иньялинской структурно-фациальной зоны**, сложенной средне-верхнеюрскими терригенными отложениями. В пределах узла картирована существенно песчаниковая толща мощностью 6,5 км, разделенная на мередуйскую и костерскую свиты соответственно байосс-батского и келловей-оксфордского возраста. Верхи геологического разреза в ядрах синклиналией сложены оксфордскими - раннекемериджскими (?) песчаниками с прослоями алевролитов [7].

Общей особенностью юрских отложений Иньялинской зоны является заметное количество в их составе неокатанных зерен эффузивов, до обретения породами туффитового облика, почти повсеместное развитие горизонтов подводно-оползневых брекчий, инъективных структур, экзотических глыб терригенных пород, олистостромовых пластин. Обычны в разрезе монотонные песчаниковые пласты мощностью до 100-150 м. В слоистых пачках преобладают параллельный (градационный) и конволютный типы слоистости. Песчаники и алевролиты сложены неокатанными несортированными по размеру зернами плагиоклаза, кварца, решетчатого микроклина, в тяжелой фракции присутствуют хромшпинелиды. Встречаются «плавающие» обломки чужеродных пород - известняков, дацитов, андезитов, диоритов [1, 2, 7]. Для черных алевролитов характерна вкрапленность пирита, марказита, реже пирротина. Количество сульфидов железа не превышает 1 %. По химическому составу песчаники в Иньялинской зоне соответствуют полевошпатовым грауваккам, алевролиты – высокоглиноземистым алевролитам, по классификации В.Н. Шванова [3]. В целом терригенные образования осевой части ИДС, в том числе Берендейского узла, можно объединить в олистостромовый комплекс лавинной седиментации [7].

На площади рудного узла наблюдается сопряжение линейных синклиналией и антиклиналией, примерно в равной степени сжатых и осложненных мелкими изоклинальными складками. Максимальное сжатие толщ и тектоническое раздавливание пород наблюдается в антиклинали, совпадающей с разрывным нарушением, выделенным нами вслед за А.Д. Чеховым [8] как разлом Буркандьи. В целом для узла характерны узкие (10-100 м) складки, сжатые до изоклинальных, вертикальные и опрокинутые. Некоторые складки – мелкие дисгармоничные дислокации, сопряженные с горизонтами подводно-оползневых брекчий, имеют явное гравитационное происхождение.

Разрывы, входящие в структурный парагенезис продольного к складчатости регионального разлома Буркандьи, в целом имеют северо-западную ориентировку и представляют собой в основном межпластовые взбросы и надвиги. Наиболее крупные разрывы совпадают с сильно сжатыми (гребневидными и изоклинальными) антиклиналями, вертикальными и опрокинутыми на юго-запад. Характерно кулисообразное сопряжение крупных синклинальных складок вдоль субширотных левых сдвигов, нередко совпадающих с современными речными долинами (в частности, р. Иньяли). Широко развиты дайки позднеюрского возраста.

В складчатой структуре также проявлены поздние деформации, приуроченные к поперечным разломам, представляющие собой субмеридиональные антиклинали, выраженные в воздымании шарниров складок северо-западного и широтного простирания. С такой антиклиналью в долине р. Индигирки совпадает западная часть грандиозной по масштабам Прииндигирской свиты даек.

Общей структурной особенностью складчатых деформаций Иньялинской зоны является отсутствие или слабое развитие осевого кливажа.

Западнее узла выделяется поперечная блоковая структура – Силапский горст, ограниченный субмеридиональными нарушениями, в геологическом разрезе выраженный в сокращенной мощности юрской осадочной толщ, вплоть до ее выклинивания в осевой части ИДС, и вмещающий одноименный поперечный ряд интрузий низкощелочных, нормальных, субщелочных гранитов, реже гранодиоритов, лейкогранитов, микроклин-альбитовых гранитов. Интрузивы имеют ранне- и позднемиоценовые К-Аг датировки [4-6].

Гранитизированный блок выражен в поле силы тяжести, как протяженный меридиональный минимум. Вдоль гравитационных ступеней, ограничивающих минимум, наблюдается торцевое окончание, сужение и смещение магнитных аномалий широтной и северо-западной ориентировки. В.И. Бергер в 1982 г. [2] выявил в пределах горста очень крупный «термальный купол» с кордиерит-биотитовым метаморфическим парагенезисом. Для горста характерны пологие дислокации, брахиформные складки, в то время как за его пределами преобладает линейная складчатость. Разрывы, ограничивающие горст, представляют собой «взвязки» сдвиги без нарушения сплошности толщ.

Разлом Буркандья – главный структурный элемент Берендейского узла. Выражен линейными знакопеременными гравитационными и магнитными аномалиями, на мелкомасштабных космофотоснимках проявлен в виде контрастного линеамента. Главный шов разлома представляет собой зону смятия и рассланцевания шириной до 2 км. К ней под острым углом причленяются зоны нарушений меньшей мощности. Зона разлома совпадает с сильно сжатой антиклиналью с вертикальными крыльями. Мелкие разрывы в зоне разлома расположены кулисно и характеризуются право- и левосторонним смещением. Ориентировка складок волочения в зоне разлома, характер расположения частных нарушений позволяют предполагать правосдвиговый характер главной (доинтрузивной) фазы перемещений по разлому, сменившихся в меловое время левосдвиговыми и частично надвиговыми движениями. Сопряжения магистральных и оперяющих разрывов в зоне разлома нередко формируют линзовидные в плане участки повышенной трещиноватости шириной до 2-3 км. Терригенные породы вдоль разлома содержат вкрапленность сингенетичного и эпигенетичного пирита. В геохимических полях разлом выражен контрастными аномалиями золота, сурьмы, мышьяка, серебра, свинца, меди, реже вольфрама и олова. С разломом связаны многочисленные рудопроявления и россыпи золота.

Магматизм. Интрузии нера-бохапчинского позднеюрского комплекса приурочены к региональным зонам линейной складчатости, характеризующимся полнотой разреза терригенных толщ, увеличением их мощности и шовным типом складчатых дислокаций. По мнению В.И. Бергера, подобные структуры представляют собой палеораздвиги на утоненной коре, образовавшейся вследствие растяжения дорифейского континентального блока [1, 2]. Интрузивы данного комплекса слагают дайки и штоки. Протяженность наиболее крупных даек 10-15 км при мощности до 100 м. Пучки параллельных даек нередко объединяются в свиты протяженностью до 60 км при ширине до 25 км, с насыщенностью до 10 даек на километр вкрест свиты. Дайки прорывают юрские (включая оксфордские) отложения. Форма их меняется от простой жилообразной до сложной причудливо ветвящейся, с множеством разно ориентированных апофиз. Распространены порфировые диориты, кварцевые диориты, андезибазальты, андезиты, дациты, натриевые риолиты, редки долериты, кварцевые долериты и габбро. Позднеюрский (кимеридж-волжский) возраст комплекса определяется интрузивным характером контактов тел с оксфордскими отложениями и взаимоотношением даек с раннемеловыми гранитами (пересечения даек гранитами). К-Аг датировки пород по биотиту кварцевых диоритов дают значение 150-160 млн. лет [5-7]. Интрузивы данного комплекса подверглись интенсивным наложенным изменениям – они частично или нацело пропилигитизированы, березитизированы, окварцованы по массе и прожилкам, кислые разности часто целиком превращены во вторичные кварциты. Характерно отсутствие сколько-нибудь заметного контактового воздействия даек на вмещающие породы. Для пород комплекса установлен повышенный кларк концентрации хрома, серебра, фосфора.

В Берендейском узле доминируют риолиты, диориты слагают единичные тела.

Поле силы тяжести в рудном узле и на его периферии резко дифференцировано: линейные северо-западные и широтные (соскладчатые) знакопеременные элементы внутри рудного узла к западу от него срезаются крупным субмеридиональным гравитационным минимумом, в центре вмещающим высокогорные гранитные массивы (батолиты Силяп и Чён), а к востоку ограничены меридиональной областью повышенных значений силы тяжести с резкими зонами градиентов, под острым углом сходящимися к северу, этот максимум Δg отражает крупнейший в Верхне-Индибирском районе поперечный Прииндибирский разлом и столь же крупный ареал сближенных даек диорит-риолитового состава [7]. Осевая часть гравитационного максимума совпадает с долиной р. Индибирки. В целом характер гравитационного поля свидетельствует об интенсивной раздробленности кристаллического фундамента с дифференциацией различно ориентированных зон утонения (или полной деструкции континентальной коры) и слабо деструктурированных сиалических блоков.

Металлогенетические факторы контроля оруденения:

1. **Структурный.** Региональный разлом Буркандья и его ветви северо-западного простирания, по кинематическому типу – правые взбросо-сдвиги, надвиги, сопряжённые с субширотными левыми сдвигами и пересеченные меридиональными магмовыводящими каналами безамплитудного трещинного типа, вмещающими многочисленные сближенные дайки. Сместители частных разрывов, выраженные объемными зонами катаклаза и брекчий в песчаниках, алевролитах и дайках, непосредственно вмещают золоторудные тела. Богатое оруденение приурочено к продольным к складчатости левосдвиговым нарушениям, пересекаемым меридиональными разрывами с дайками.

2. **Магматический.** Западное крыло очень крупного меридионального (поперечного к складчатости) Прииндибирского ареала даек позднеюрского нера-бохапчинского комплекса диорит - риолитового состава.

На пересечении разрывами северо-западного и широтного простирания дайки минерализованы и золотоносны.

3. **Метаморфический.** Ограничением золотоносности Берендейского узла являются изограды ярко-красно-бурого (в шлифах) биотита – внешние границы огромных Прииндигирского и Сиялпского «термальных куполов» – предполагаемые зоны «отгонки» золота [7].

4. **Прямые поисковые признаки.** В верховьях руч. Жаркий (левый приток р. Чалбы) выше головной части богатой россыпи со слабо окатанным металлом (пробность 780-830) вдоль ветвящегося разрыва в полосе протяженностью 1400 м и шириной до 150 м кулисно расположена серия зон окварцованных брекчий песчаников с хлорит-кварцевым цементом и согласных кварцевых жил. И брекчии, и жилы содержат галенит, арсенопирит, пирит, обильное видимое золото, содержание последнего в точечных пробах достигает 500 г/т. Видимая мощность зон окварцованных брекчий до 3-4 м, жил до 1 м, протяженность тел с видимым золотом до 250 м. В трещиноватых околожильно измененных хлоритизированных песчаниках наблюдаются нитевидные прожилки кварца, иногда с крупными частицами золота, вкрапленностью пирита, галенита, арсенопирита. Прослеженная протяжённость серии сближенных зон дробления с телами богатых руд 1,1 км.

Участок пересечен сближенными меридиональными дайками риолитов, сплошь превращенных в зеленовато-серо-желто-белые вторичные кварциты с различной по густоте вкрапленностью пирита, ромбических кристаллов арсенопирита, местами - зернами сульфосолей и мелкими гнездами фиолетового флюорита. Из протолок по окварцованным дайкам лотком отмыты тонкие частицы электрума (пробность 550-650). Мощность даек до 50-70 м, протяжённость (с учетом космофотогеологических элементов) до 10 км. Минерализованные дайки от истоков руч. Жаркий непрерывно прослеживаются на север в бассейн руч. Поздний (также с россыпью золота), и на юг до недавно открытых россыпей в правых притоках верховьев р. Хангалас и левых – р. Бергеннях (месторождение Тарбаган и др.). Общая протяженность свиты минерализованных даек 20 км.

В момент открытия дайковых проявлений в истоках руч. Жаркий (Тематический отряд Верхне-Индигирского государственного геологического предприятия, 1990 г.) содержание в них золота, не превышающее первых граммов на тонну (с преобладанием значений 1-2 г/т на массу), не вызвало интереса, однако в свете современной весьма благоприятной на золото экономической конъюнктуры и с учетом огромной протяжённости и суммарного объема даек это уже становится интересным, тем более, что на фоне бедного оруденения в дайках выделяются участки очень богатых руд.

Юго-восточнее от описанной минерализованной зоны в верховьях руч. Жаркий, в долине руч. Чубука, на продолжении серии рудоносных разрывов расположена головная часть россыпи с содержанием золота до 100 г/м³, в плотике вскрыта кварцевая жила в дайке диоритов с видимым золотом. Спутником россыпь золота здесь является шеелит. Далее на восточном продолжении серии сближенных разрывов, в юго-восточной оконечности хребта между створами руч. Чубука и Отава в двух сближенных меридиональных дайках диоритов масса интрузивов на всю мощность даек (10-20 м) превращена в окремненную брекчию с обильной вкрапленностью пирита, арсенопирита, галенита, крупных зерен видимого низкопробного (600-680) золота. Содержание золота в минерализованной брекчии по дайкам достигает 180–200 г/т, в то время как жилы кварца, секущие брекчию, содержат золото 1-2 г/т. Протяженность участков даек с видимым золотом определяется шириной зоны рудоконтролирующего разрыва и достигает 100 м. Подобная ситуация прогнозируется по всему нижнему и среднему течению руч. Чубука. Общая протяженность рудоконтролирующей серии сближенных субширотных - северо-западных разрывов на левобережье руч. Чалбы не менее 3 км, ширина – 0,6 км.



Рис. 1. Космофотоснимок северо-западной части Берендейского узла. Черные штрихи – зоны дробления, красные – участки с видимым золотом. Меридиональные светлые полосы – окварцованные, сульфидизированные дайки. Светлые фотополя в долинах рек – отработки богатых россыпей

Золотоносные продольные зоны дробления в терригенных породах и окварцованные дайки с высокими содержаниями золота известны также в бассейне руч. Берендей, где расположена одна из богатейших россыпей района работ, предполагаются в истоках ручьев Энгцелях и Хангалас, в истоках левых притоков реки Береннях в ее верхнем течении. На сегодня наибольший интерес представляет протяженная субширотная зона дробления, трассируемая из верховьев руч. Жаркий через долину руч. Чубука на правобережье руч. Чалбы.

Узел сопровождается россыпями с запасами до нескольких тонн, местами с очень высоким содержанием золота (до 80-100 г/м³ в долине руч. Чубука). Пробность россыпного и рудного золота колеблется от 650-780 на западе узла до 880 на востоке.

Подводя итог, отметим следующее. Берендейский рудный узел – крупный по размерам, интенсивно насыщенный богатыми россыпями золота, до сих пор выявляемыми нынешними недропользователями, имеет потенциал для открытия крупных рудных месторождений. Сочетание благоприятных металлогенических факторов, прямые поисковые признаки аргументируют поисковый интерес к этой площади. Минерализованные дайки и зоны дробления нередко создают визуально хорошо различимый «факельный» эффект на местности и космофотоснимках – аномально светлые, участками желто-бурые полосы, что облегчает их диагностику в поле (рис. 1).

Литература

1. Бергер В.И. Сурьмяные месторождения. Л. Недра. 1978. 295 с.
2. Бергер В.И., Мамонов С. В. Региональный метаморфизм терригенного комплекса Верхояно-Колымской складчатой системы. /Проблемы регионального и ударного метаморфизма. Тр. ВСЕГЕИ, т. 238, нов. серия, 1982, с. 76-82.
3. Ефремова С.В. Стафеев К.Г. Петрохимические методы исследований горных пород. М. Недра. 1985. 511 с.
4. Ненашев Н.И. Магматизм и развитие рудно-магматических узлов Восточной Якутии. Н. Наука. 1979. 141 с.
5. Ненашев Н.И., Зайцев А.И. Геохронология и проблема генезиса гранитоидов Восточной Якутии. Н. Наука. 1980, 237 с.
6. Ненашев Н.И., Зайцев А.И. Эволюция мезозойского гранитоидного магматизма в яно-Колымской складчатой области. Якутск. 1985 175 с.
7. Никонов В.Н. Геология и металлогения Верхне-Индибирского горнопромышленного района. Автореф. дисс. на соискание ученой степени к.г.-м.н. М. МГГРУ. 2004. 25 с.
8. Чехов А.Д. Тектоника Иньяли - Дебинского синклиория. / Складчатые структуры Дальнего Востока, Владивосток, 1976, с. 132-144.

© Никонов В.Н., Заболотская О.В., 2026

УДК 551.7

А.В. Рыскулова,
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа
Научный руководитель: **Р.Р. Якупов,**
к.г.-м.н., Институт геологии Уфимского федерального исследовательского
центра РАН, г. Уфа

СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ЛЛАНДОВЕРИЙСКОГО ОТДЕЛА СИЛУРА НА ЗАПАДНОМ СКЛОНЕ ЮЖНОГО УРАЛА

Аннотация. Лландоверийский отдел силура состоит из рудданского, аэронского и теличского ярусов. На западном склоне Южного Урала отложения основания силура ранее не выделялись. Отложения набиуллинской и узьянской свит, содержащие лландоверийский интервал изучены в разрезах Набиуллино, Максютово, Кага-В.Авзян. В наиболее полном разрезе у д. Максютово по граптолитам и конодонтам установлены отложения рудданского, аэронского и теличского ярусов. Новые данные по возрасту на основе биостратиграфических исследований создают основу для разработки региональной стратиграфической схемы с выделением зональных подразделений.

Ключевые слова. Стратиграфия, лландовери, силур, Южный Урал

STATE OF STUDY OF LLANDOVERIAN SERIES OF SILURIAN ON THE WESTERN SLOPE OF THE SOUTHERN URALS

Annotation. The Llandoveryian series of the Silurian consists of the Rhuddanian, Aeronian, and Telychian stages. Deposits of the base of the Silurian have not previously been identified on the western slope of the Southern Urals. Deposits of the Nabiullino and Uzyan formations, containing the Llandoveryian interval, have been studied in the Nabiullino, Maksyutovo, and Kaga-Up. Avzyan sections. In the most complete section near the village Maksyutovo, deposits of the Rhuddanian, Aeronian, and Telychian stages have been identified based on graptolites and conodonts. New age data based on biostratigraphic studies provide the basis for developing a regional stratigraphic scheme with zonal subdivisions.

Key words. Stratigraphy, Llandovery, Silurian, South Ural

Введение. Лландоверийский отдел – нижний из четырёх отделов силурийской системы, охватывающий интервал 443,1–432,9 млн лет и включающий три яруса: рудданский, аэронский и теличский (рис. 1). Название происходит от типового района возле г. Лландовери в Уэльсе (Южный Уэльс), где залегает терригенная толща мощностью около 1200 м, сложенная алевролитами, песчаниками и глинистыми сланцами с богатой брахиоподовой и граптолитовой фауной.

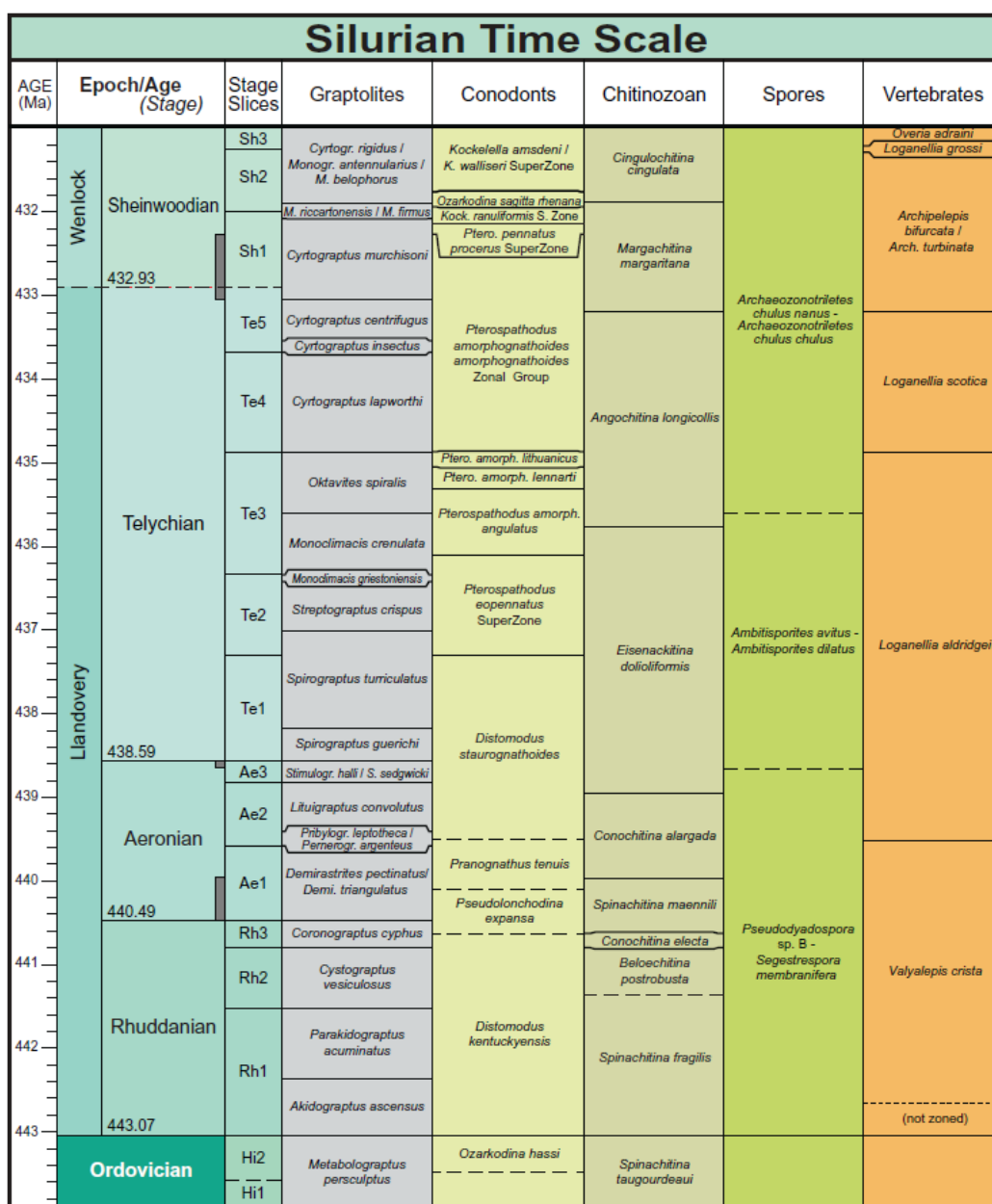


Рис. 1. Стратиграфическая шкала по силуру с биономами по граптолитам, конодонтам, хитинозоям, спорам, позвоночным (Melchin et al. 2020)

Нижняя граница лландовери является границей основания силура в разрезе Dob's Linn (Шотландия) – 1,6 м выше основания свиты Birkhill Shale, где фиксируется появление граптолитовой зоны *Parakidograptus acuminatus* (*Akidograptus ascensus* – *P. acuminatus*) и зафиксирован GSSP (Global Stratotype Section Point). Верхняя граница лландовери определяется основанием венлока; и также привязана к GSSP, по появлению характерных венлокских граптолитов и брахиопод.

GSSP для аэронского и телического ярусов первоначально были предложены в районе Лландовери, но в связи с недостаточной корреляционной чёткостью Международная комиссия по силуру инициировала их пересмотр; для аэронского яруса предложен новый опорный разрез Хласна-Гржебань (Чехия), где нижняя граница проводится по первому появлению граптолита *Demirastrites triangulatus* (Harkness) в чёрных сланцах свиты желковице.

Для телического яруса одобрен перенос GSSP в разрез El Pintado 1 (Испания), где основание телича предлагается проводить по FAD (First Appearance Data – первое появление) граптолита *Spirograptus guerichi* Loydell в пределах богатой граптолитовой последовательности. (Melchin et al., 2020).

Актуальность исследований обосновывается изменением международной, а вслед за ней и общей стратиграфической шкалы (Якупов, Хамитов, 2026), в результате чего ярусы силура были переведены в ранг отделов, а горизонты – в ранг ярусов (рис. 2). Установление границ стратиграфических подразделений Общей стратиграфической шкалы в региональных разрезах Южного Урала и корреляция региональных стратиграфических схем с другими регионами требует проведения специализированных палеонтолого-стратиграфических работ.

Общая стратиграфическая шкала, 2012				Международная стратиграфическая шкала, 2020		Общая стратиграфическая шкала, 2024				Возраст, млн лет	
Система	Отдел	Подотдел	Ярус	Period	Epoch/Age (Stage)	Система	Отдел	Подотдел	Ярус		
СИЛУРИЙСКАЯ	Верхний	Прждидольский								419,2 ±3,2	
		Лудловский	Лудфордский		422,73						423,0 ±2,3
			Горстийский		425,01						425,6 ±0,9
		Венлокский	Гомерский		426,74						427,0 ±0,5
			Шейнвудский		430,62						430,5 ±0,7
	Нижний	Лландоверийский	Телический		432,93						433,4 ±0,8
			Аэронский		438,59						438,5 ±1,1
		Рудданский			440,49						440,8 ±1,2
					443,07						443,8 ±1,5
		Венлокский	Шейнвудский		432,93						433,4 ±0,8
			Гомерский		430,62						430,5 ±0,7
Лудловский	Горстийский		426,74						425,6 ±0,9		
	Лудфордский		422,73						423,0 ±2,3		

Рис. 2. Сопоставление ОСШ 2012, МСШ 2020, и ОСШ 2024 для силура (Якупов, Хамитов, 2026)

На западном склоне Южного Урала к лландоверийскому отделу относили набиуллинскую, азнагуловскую и узьянскую свиты, выделенные и охарактеризованные в работах Д.Г. Ожиганова и В.А. Маслова (Ожиганов, 1955; Краузе, Маслов 1961) (рис.3). В настоящее время отложения азнагуловской свиты

рассматриваются в объеме нижней толщи узьянской свиты. Лландоверийские отложения на западном склоне Южного Урала представляют собой преимущественно терригенные с небольшой долей карбонатов алевролитовые и песчанистые толщи, формировавшиеся в условиях относительно глубокого морского бассейна, которые перекрывают мелководные ордовикские песчаники и песчанистые доломиты (Салихов, Якупов, 2005).

Считалось, что на западном склоне Южного Урала имел место выраженный предсилурийский перерыв: на песчаниках среднего–верхнего ордовика, датированных по брахиоподам и другим макро фаунистическим остаткам, несогласно залегают теличские алевролиты с граптолитами зон *Spirograptus guerichi* и *Spirograptus turriculatus-Streptograptus crispus* (Якупов, Суяркова, 2020). Предполагалось отсутствие или крайне сокращённое развитие нижних ярусов лландовери (рудданского и значительной части аэронского ярусов).

С начала 2000-х годов осуществляется комплексное исследование силурийских отложений западного склона Южного Урала в ключевых разрезах, где представлены лландоверийские отложения (Набиуллино, Максютово, Кургашлы, Кага–В. Авзян и др.).

ОСП (Постановления..., 2013)			Местные стратиграфические подразделения (Ожиганов, 1955; Краузе, Маслов, 1961)		Местные стратиграфические подразделения (Якупов и др., 2002)	
Система	Под-система	Отдел	Ярус	Свита	Свита	Толща
Силурийская	Нижняя	Лландоверийский	Теличский	Узянская	Узянская	Нижняя
				Азнагуловская		
			Аэронский	Набиуллинская	Набиуллинская	Южно-байпазаровская
			Рудданский			
Ордовикская		Верхний	Хирнантский	Тирлянская		Тирляно-кагинская

Рис. 3. Отложения лландовери на Южном Урале (составлен автором)

В ходе стратиграфо-палеонтологических исследований А.А. Суярковой, Р.Р. Якуповым, Т.М. Мавринской показано, что ордовикско-силурийская граница в ряде разрезов отличается: выявлены более полные последовательности пограничных слоёв с граптолитами, что указывает на наличие части рудданского и аэронского интервалов, ранее считавшихся отсутствующими. Также были уточнены данные по граптолитам в разрезе Набиуллино (Якупов, Суяркова, 2020). Ранее считалось (Краузе, Маслов, 1961), что в разрезе Набиуллино представлены отложения верхнего ордовика, предположительно подстилающие основание силура, однако в последних работах уточняется, что граптолиты относятся к хирнантским формам, проходящим в низы силура, что затрудняет обоснование границы ордовикской и силурийской систем в разрезе Набиуллино.

В последние годы (2023–2025 гг.) разрез Максютово (рис. 4) стал одним из ключевых объектов для уточнения возраста лландоверийских отложений на западном склоне Южного Урала. Новые геохимические данные и определения конодонтовой фауны, в дополнение к ранее полученным определениям по граптолитам и литостратиграфии позволили уточнить возраст доломитов, перекрывающих ордовикские песчаники.



Рис. 4. Местоположение разреза Максютново (Рыскулова и др., 2025)

Детальная конодонтовая характеристика карбонатных и терригенно-карбонатных пачек лландовери в разрезе Максютново позволяет пересмотреть объём доломитовой толщи аэронского возраста и выделить отложения рудданского интервала.

В ходе настоящего исследования автором в разрезе Максютново были определены конодонты раннего лландовери, характерные для конодонтовых зон *Distomodus kentuckyensis* и *Pranognathus tenuis*, что впервые позволяет уточнить в разрезе интервалы рудданского и аэронского возраста (Рыскулова, 2024, Рыскулова и др., 2025) (рис. 4).

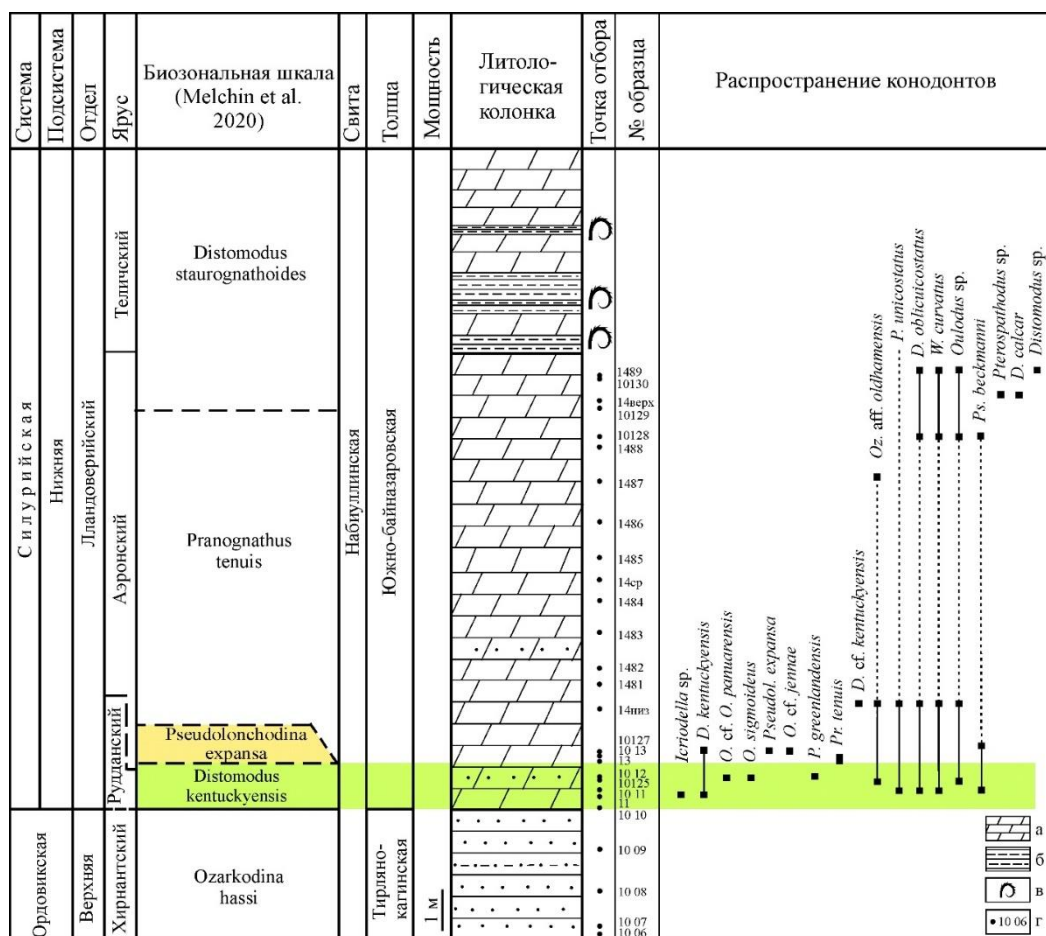


Рис. 5. Распространение конодонтов в разрезе Максютново (Рыскулова и др., 2025)

Условные обозначения: а – доломиты; б – аргиллиты; в – граптолиты; г – номера образцов

На основе видового состава и интервалов появления в разрезе выделены и охарактеризованы конодонтовые комплексы, условно совпадающие с общей конодонтовой биоэональностью (Melchin et al., 2020). Новые данные уточняют стратиграфическое положение аэронской доломитовой толщи в разрезе Максютото, определяют присутствие части отложений рудданского яруса в разрезе и служат основой для последующей доработки региональной стратиграфической схемы нижнего силура западного склона Южного Урала.

Выводы. Полученные конодонтовые данные указывают на наличие всех ярусов лландоверийского отдела силура в разрезе Максютото, и создают основу для разработки региональной стратиграфической схемы с выделением конодонтовых комплексов и зональных подразделений.

Комплексные биостратиграфические исследования, позволившие уточнить наличие и последовательность местных стратиграфических подразделений (см. рис. 3) включали отбор новых органических остатков (конодонтов и граптолитов) и ревизию находок прошлых лет. Впервые в разрезе Максютото были определены конодонты аэрона, доказывающие наличие аэронского яруса и подстилающие рудданские отложения (см. рис. 5) небольшой мощности в силурийских отложениях на западном склоне Южного Урала.

В настоящее время в разрезе Максютото установлена конодонтовая зональность лландовери и приведено первое обоснование наличия отложений рудданского яруса нижнего лландовери на западном склоне Южного Урала.

Библиографический список

1. Краузе С.Н., Маслов В.А. Ордовик, силур и нижний девон Западного склона Башкирского Урала / Уфа: БФАН СССР. 1961. 94 с.
2. Рыскулова А.В. Первая конодонтовая характеристика аэронских отложений разреза Максютото (Южный Урал) // XII Всероссийская молодежная конференция «Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий» № 15. г. Уфа, 2024, с. 188-190.
3. Рыскулова А.В., Мавринская Т.М., Якупов Р.Р. Комплексы конодонтов аэрона из разреза Максютото (Южный Урал) // XIII Всероссийская молодежная конференция «Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий» № 13. г. Уфа 2025, с. 53-56.
4. Салихов Д.Н., Якупов Р.Р. Геологическое положение и химический состав базальтов межкраинской зоны (северная часть Зилаирского мегасинклиория) // Литосфера. – 2005. – № 2. – С. 60-67.
5. Суяркова А.А., Якупов Р.Р. Граница ордовика и силура на Южном Урале: новые данные по граптолитам и ревизия определений прошлых лет (разрез Набиуллино, Западно-Залаирская СФЗ) // Труды палеонтологического общества, 2020. Том III. С. 64-79.
6. Якупов Р.Р., Мавринская Т.М. Новые данные о раннесилурийских отложениях разреза Максютото (Южный Урал) // «Био- и геособытия в истории Земли. Этапность эволюции и стратиграфическая корреляция» Материалы LXIX сессии палеонтологического общества при РАН 3– 7 апреля 2023 года Санкт-Петербург. 2023. С. 160-162.
7. Якупов Р. Р., Хамитов К. Р. Проблема актуализации стратиграфических схем ордовика-силура Южного Урала // Геологический вестник. 2026. № 1. С. 5–12.
8. Felix M. Gradstein, James G. Ogg, Mark D. Schmitz and Gabi M. Ogg. Published by Elsevier BV. Geologic Time Scale 2020 Volume 2. 2020, 521 p.

© Рыскулова А.В., Якупов Р.Р., 2026

УДК 339.13:553.631

Н.Х. Сагитдинова

Соискатель,

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

Научный руководитель: **С.К. Мустафин**

д-р. геол.-мин. наук, профессор, Уфимский университет науки и технологий, академик РАЕН г. Уфа

КАМЕННАЯ СОЛЬ КАК ВОСТРЕБОВАННЫЙ ВИД МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ; ГЕОЛОГИЯ, ДОБЫЧА, РЕСУРСЫ, СПРОС

Аннотация. Анализируются данные, характеризующие основные геолого-генетические аспекты формирования и закономерностей размещения солеродных бассейнов и месторождений каменной соли. Характеризуется сырьё состояние мирового рынка каменной соли, крупные месторождения РФ и рассолопромысел Яр-Бишкадак.

Ключевые слова. Каменная соль, бассейны, месторождения, добыча, спрос, рассолопромысел Яр-Бишкадак

STONE SALT AS A POPULAR TYPE OF MINERAL RAW MATERIAL; GEOLOGY, EXTRACTION, RESOURCES, DEMAND

Abstract. The article analyzes data characterizing the main geological and genetic aspects of the formation and patterns of distribution of salt basins and rock salt deposits. It also describes the current state of the global rock salt market, the major deposits in the Russian Federation, and the Yar-Bishkadak brine field.

Keywords. Rock salt, basins, deposits, extraction, demand, Yar-Bishkadak brine field.

Каменная соль широко распространённый в природе вид полезного ископаемого, представлена единственным минералом - галитом, имеет химический состав NaCl. Соль - весьма ценный продукт мирового рынка минерального сырья, который широко используется и чаще всего практически незаменим, в первую очередь, в пищевой, химической, аграрной отраслях производства, а также в коммунальной и других отраслях.

Таблица 1

Основные страны – мировые продуценты каменной соли (Salt. U.S. Geological, 2026)

Страны-продуценты каменной соли	Горная добыча каменной соли, млрд т		Ресурсы каменной соли,
	2024 г.	2025 г.	
Соединённые штаты Америки	540,400	40,000	В недрах основных стран-продуцентов каменной соли имеются значительные экономические и субэкономические запасы этого вида минерального сырья. Океаны содержат практически неисчерпаемые запасы соли.
Австралия	12,000	12,000	
Беларусь	2,000	2,000	
Бразилия	6,600	6,600	
Болгария	2,600	2,700	
Канада	510,600	13,000	
Чили	8,900	9,000	
Китай	56,000	56,000	
Египет	2,300	2,300	
Франция	4,500	4,500	
Германия	15,000	15,000	
Индия	34,000	30,000	
Иран	4,200	4,200	
Италия	3,000	1,900	
Мексика	7,000	7,000	
Нидерланды	5,800	5,400	
Пакистан	3,100	3,100	
Польша	3,400	4,100	
Российская Федерация	6,900	7,000	
Саудовская Аравия	2,400	2,400	
Испания	4,000	4,000	
Турция	8,400	8,300	
Соединённое Королевство	2,600	2,600	
Другие страны	29,000	28,000	
Мир в целом (округлённо)	275,000	270,000	

Крупнейшими экспортёрами каменной соли в 2024 году были: Индия, Германия, Нидерланды, США, Испания, Чили, Китай, Канада, Великобритания (Salt. U.S. Geological, 2026); крупнейшим импортёром Китай.

Импорт каменной соли в РФ достигал до 2,5 млн т/год; в настоящее время отмечается его снижение.

Солеродные (галогенные) бассейны – это осадочно-породные бассейны, в которых происходят процессы соленакопления (галогенеза). Они широко распространены на всех континентах, в морях и на океанических окраинах, но отсутствуют в пределах внутренних частей собственно океанических пространств.

Солеродным (галогенным) бассейном называют природный водоем (седиментационный бассейн), в котором осуществляются процессы соленакопления. Гидрологические особенности и условия водного питания обуславливают континентальные (питание водами суши) и морские (питание морскими водами) процессы формирования солеродных бассейнов.

По условиям образования (ландшафтным обстановкам) выделяют: озерные, лагунные, заливные, эпиконтинентальных и внутриконтинентальных морей солеродные бассейны. В зависимости от минерально-геохимического (ионно-солевого) генетического типа галогенеза по составу минерального сырья различают солеродные бассейны хлоридные, сульфатные и карбонатные (содовые).

Среди крупных осадочных бассейнов мира около половины (более 110) содержат соляные (галогенные) толщи, т. е являются соленосными. Соленосные бассейны широко распространены по всей планете. Они установлены в пределах всех континентов, морей, океанических окраин, отсутствуя лишь на абиссальных пространствах собственно океанов, куда «внедряются» только в их приконтинентальные части. Довольно часто в солеродных бассейнах образуются соляно-нафтенные узлы (рис. 1) (пример Предуральский краевой прогиб с Яр-Бишкадакским месторождением каменной соли и Ишимбайским нефтяным месторождением в отложениях Р).

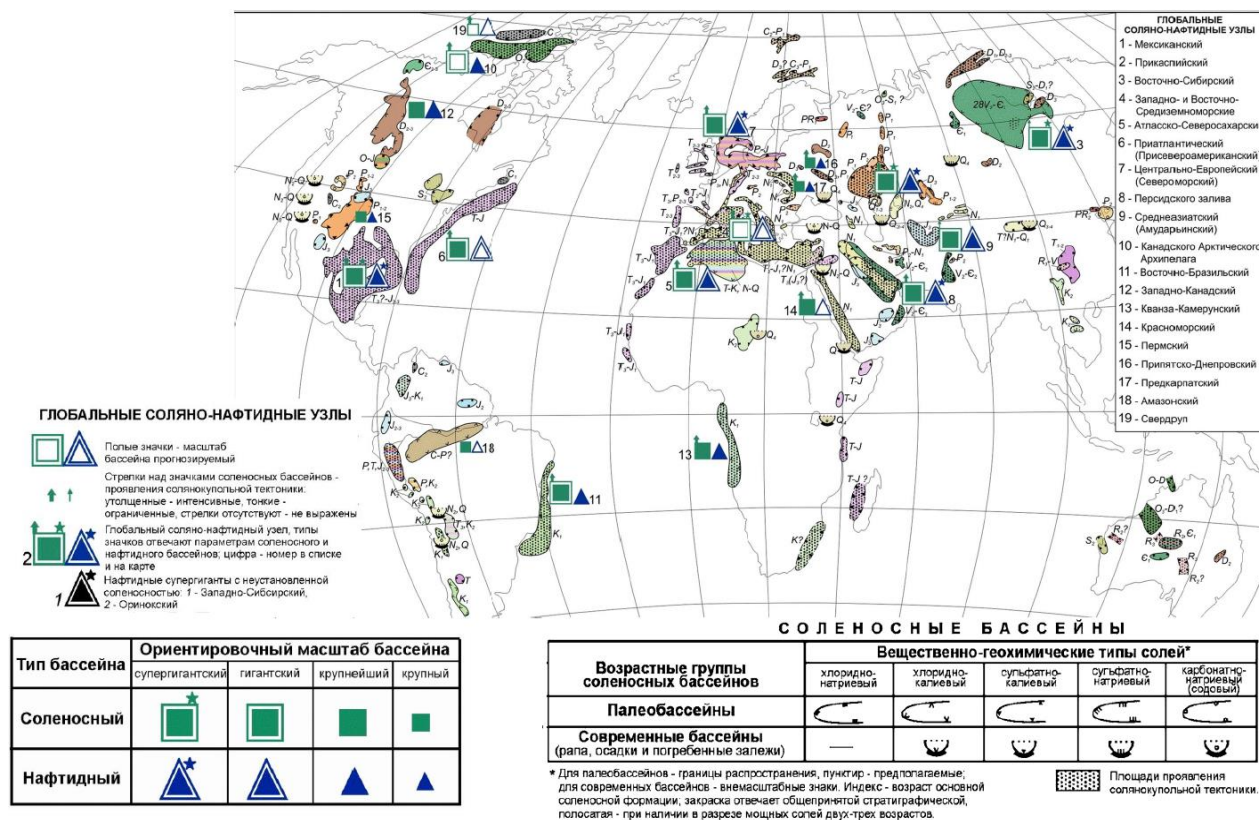


Рис. 1. Природные соляно-нафтидные узлы Земли (Беленицкая Г.А., 2012)

Основные закономерности пространственно-временного распределения соленосных тел во многом определяются закономерностями палеотектонического развития.

По данным Г.А. Беленицкой (2013) закономерности геодинамического размещения бассейнов соленакопления обусловлены следующими геолого-минерагеническими факторами:

1. Периодичностью семи эпох соленакопления (V_2-C_2 , D_{2-3} , P_{1-2} , T_3-J_1 , J_3 , K_{1-2} , N_1) соответствующих уровням проявления главных глобальных и межрегиональных эпох диастрофизма.
2. Упорядоченностью пространственного размещения соленосных объектов с формированием на каждом стратиграфическом уровне планетарных поясов соленакопления.
3. Региональными особенностями возрастного распределения соленосных объектов которое коррелируется с интервалами проявления тектонической активности.
4. Синхронностью или закономерной последовательностью галогенных событий.
5. Геодинамической «специализацией» эпох соленакопления наиболее отчетливо проявившейся в поздневендскую, пермскую и миоценовую эпохи.
6. Геохимическая «специализация» эпох соленакопления - сульфатно-калийный тип коллизионных эпох – для миоценовой, пермской и возможно поздневендско-среднекембрийской; хлоридно-кальциевый – для рифтогенных меловой и, возможно, средне-позднедевонской. Присутствие калийных солей – общая черта всех эпох максимального соленакопления.
7. Унаследованность эпох соленакопления.

Соляная промышленность Российской Федерации, несмотря на значительные объемы добычи (до 6,5 млн т/год) на фоне роста потребления (+3,8 %/год, до 7,8 млн т/год), являлась импортозависимой отраслью, импортируя до 2,4 млн т/год, или до 45 % от национального потребления; лишь в 2019 г. доля импорта каменной соли снизилась до 18 %. Размещение объектов добычи и переработки каменной соли РФ на рис. 2.



Рис. 2. Соленосные провинции, предприятия, добывающие и перерабатывающие соляные продукты: 1 – соленосные бассейны (I – Предкавказский, II – Калининградский [часть Центрально-Европейского], III – Московский, IV – Прикаспийский, V – Приуральский [Верхнекамский], VI – Южно-Сибирский [Барабино-Кулундинский], VII – Минусинский, VIII – Восточно-Сибирский [Ангаро-Ленский], IX – Хатангский), 2–4 – месторождения (2 – каменной соли, 3 – самосадочной [озерной] поваренной соли, 4 – сульфатов натрия), 5, 6 – горнодобывающие предприятия, реализующие минеральные соли (5 – действующие, 6 – остановленные), 7 – химические предприятия по переработке соляного сырья (Боярко Г.Ю. и др. 2021).

Соляная промышленность Российской Федерации, несмотря на значительные объемы добычи (до 6,5 млн т/год) на фоне роста потребления (+3,8 %/год, до 7,8 млн т/год), являлась импортозависимой отраслью, импортируя до 2,4 млн т/год, или до 45 % от национального потребления; лишь в 2019 г. доля импорта каменной соли снизилась до 18 %.

Состояние сырьевой базы каменной соли РФ характеризуется данными табл. 2.

Таблица 2

Разведанные и подготовленные к освоению месторождения каменной соли Российской Федерации составлено по данным (Боярко Г.Ю. и др. 2021)

Месторождение	Регион месторасположения	Запасы каменной соли
Шедокское	Краснодарском крае	(2 млрд т)
Керженское	Кировской области	(700 млн т),
Белбашское	Нижегородской области	(2,5 млрд т)
Шумковское	Пермском крае	(160 млн т)
Стерлитамакское	Республика Башкортостан	(1,3 млрд т)
Стерлибашевское		(500 млн т) в
Талаканское	Республика Саха (Якутия)	(4,1 млрд т),
Наманинское		(748 млн т)
Олекминское		(892 млн т)

Глубина залегания соляных пластов месторождения Яр-Бишкадак, разделённых между собой пропластками ангидрито-глинистых пород, составила по данным геологоразведки 500–1200 метров, мощность до 670 метров при протяжённости в 2 км.

Мощность отдельного соляного пласта колеблется в пределах от 50 до 400 м (рис. 3).

Запасы соли утверждены на уровне 4 млрд т. (Каменная соль., 1999)

Содержание хлористого натрия (NaCl) в пластах (интервалах) изменяется от 65 до 98 %, ангидрита от 0,5 до 30 %, нерастворимого остатка от 0,2 до 11,4 %, полигалита ($K_2Ca_2Mg[SO_4]_4 \cdot 2H_2O$) от 0 до 3 %. Плотность каменной соли 2,14 т/м³(Каменная соль., 1999).

Сырьевая база стерлитамакского производства «Сода», входящего в Башкирскую содовую компанию, с получением хлоридно-натриевых рассолов, добываемых подземным выщелачиванием, являющихся сырьем для получения пищевой соли, кальцинированной и каустической соды, хлора и других химических продуктов.

Доставка потребителю поднятого из скважин рассола производится с использованием трубопровода (Каменная соль., 1999).

По данным геологической службы на территории Республики Башкортостан по состоянию на 01.01.2020 г., Государственным балансом запасов учитываются три месторождения каменной соли с балансовыми запасами кат. А+В+С₁ – 2 766 946 тыс. т, и забалансовыми 9 445 419 тыс. т.

В 2019 году добыча каменной соли равнялась 3 008 тыс. т (что составляло 49,4 % от добычи по Российской Федерации в целом). Разрабатываемое Яр-Бишкадакское месторождение, с запасами по категориям А+В+С₁ – 600 167 тыс. т и забалансовыми – 500 038 тыс. т.

Стерлибашевское и Стерлитамакское месторождения учитываются в нераспределенном фонде недр.

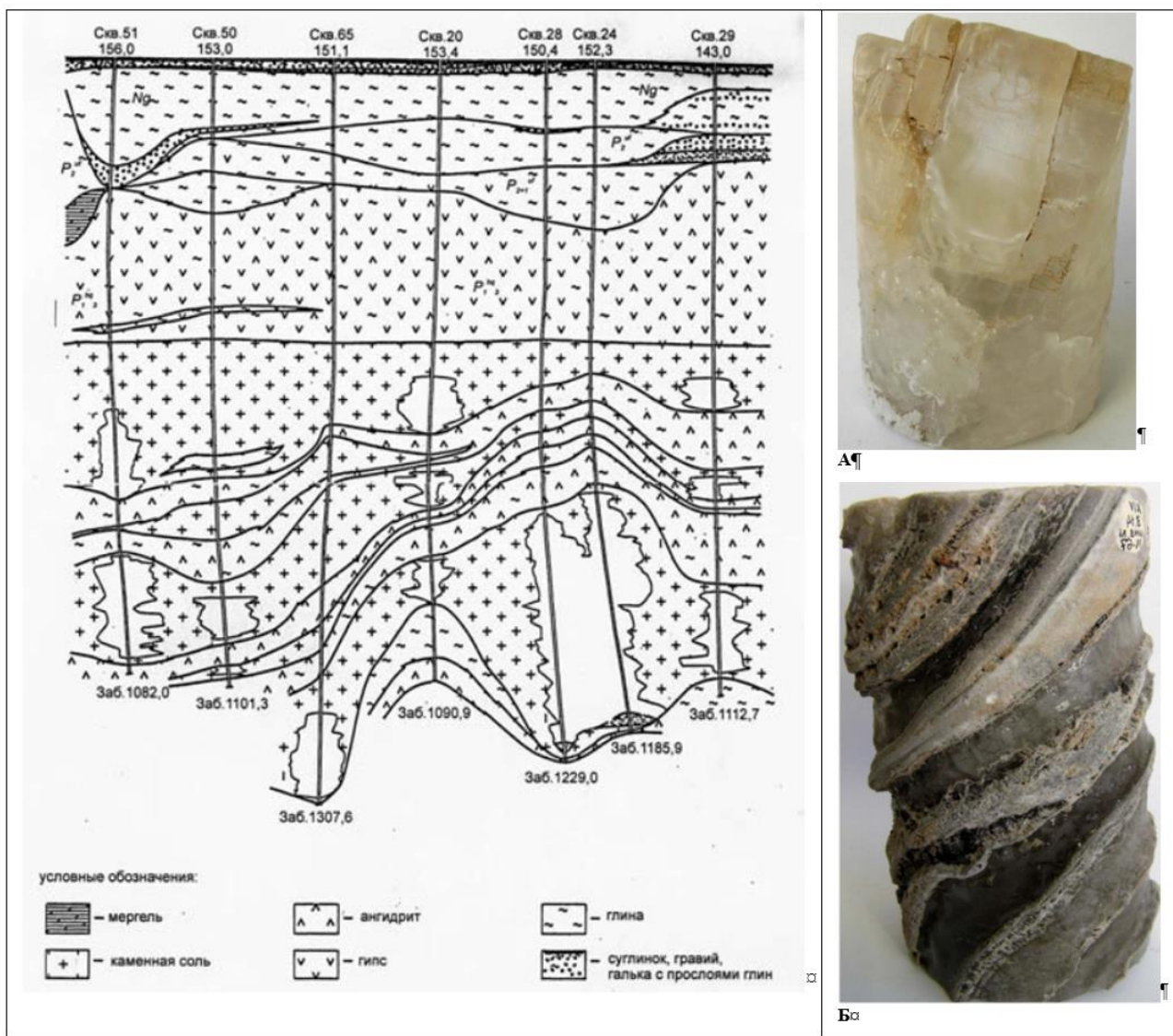


Рис. 3. Месторождение каменной соли Яр-Бишкадак. Геологический разрез (Каратыгин Е.П., 2003).

Фото керн: А – каменная соль – минерал галит (NaCl); Б – послойное чередование соли и глин

Правобережный участок Яр-Бишкадакского месторождения разрабатывает АО «Башкирская содовая компания». По материалам технико-экономического обоснования постоянных кондиций и подсчета запасов каменной соли участка Правобережный Яр-Бишкадакского месторождения в 2019 году выполнена

переоценка запасов. На участке Правобережный Яр-Бишкадакского месторождения извлечение каменной соли производится способом подземного послойного выщелачивания через одиночные и сдвоенные скважины.

В 2019 году эксплуатировались 49 скважин, из них 45 – в эксплуатационном режиме и 4 находились на разных стадиях подготовительного размыва.

В 2019 году добыча каменной соли из запасов категории В составила 3 008 тыс. т, потери – 4 359 тыс. т, из забалансовых запасов полигалит-галитовой породы – 182 тыс. т (компенсировано по графе «переоценка»). Плановые нормы эксплуатационных потерь соли на 2019 год – от 42,2 до 83,1 %, фактические – 57,7 %.

В пределах Нижне-Бельской ГПЗ (Стерлибашевский район) расположено Стерлибашевское месторождение, образованное двумя горизонтами мощностью 33–62 и 43–51 м, залегающими на глубине 69–109 и 134–161 м соответственно (Каменная соль., 1999).

I (верхний) горизонт представлен двумя пластами. Верхний пласт «А» характеризуется средним содержанием NaCl 76,7 % и нерастворимого остатка-14,5 %. Содержание гипса изменяется от 0,9 до 12,0 %; калий отсутствует. Среднее содержание NaCl в нижнем пласте «В» значительно выше-91,8 %; количество примесей незначительно (в %): KCl 3,5 гипса-2,5, н. о.- 3,0.

II горизонт образует пласт каменной соли со средним содержанием NaCl 81,5, гипса-7,6 н.о.-8,8 %. Пласт «А» и горизонт II могут служить источником технической соли низкого качества, пласт «В» -условно пищевой соли. Запасы Стерлибашевского месторождения в количестве 9,3 млрд т отнесены к забалансовым. Месторождение находится в государственном резерве.

В Ишимбайском районе Предуральской ГПЗ разведано Яр-Бишкадакское месторождение, расположенное по обоим берегам р. Белой (Каменная соль., 1999).

Месторождение образуют три пласта каменной соли мощностью от 55,5 до 300,0 м. каждый, разделенные непромышленными телами ангидрит-галитового и ангидритового состава. Глубина залегания продуктивной толщи колеблется от 340 до 1400 м., глубина подсчета запасов -1300 м.Содержание NaCl составляет в среднем по месторождению 94,0 %, количество примесей незначительно: CaCO₃-1,0, MgCO₃-1,53, н. о. – 2,22 %.

Правобережный участок Яр-Бишкадакского месторождения с 1951 г. Эксплуатируется рассолопромыслом АОТ «Сода» методом подземного послойного выщелачивания через одиночные и сдвоенные скважины с глубин до 1300 м. В 1996 г. на промысле работали 52 скважины, в т. ч. 48 на эксплуатационном режиме и 9 на разных стадиях подготовительного размыва. В 1996 г. работало 100 скважин. Получаемый рассол имел концентрацию не ниже 308 г/л NaCl.

В 1996 г. добыча составила 2127 тыс. т (6052,8 тыс. м³ рассола), технологические потери -122 тыс. т. При норме эксплуатационных потерь 20,1 % фактически потеряно 15,3 % соли. В настоящее время добывается 9 млн м³ рассола в год. Рассол подается в основном на предприятия г. Стерлитамака (АО «Сода», «Каустик», «Каучук»), ранее шёл и в г. Уфу (ГПП «Химпром») [5].

Соль используется в химической промышленности для производства соды, хлора и других продуктов.

Правобережный участок в пределах утвержденного горного отвода разбурен эксплуатационными скважинами полностью. Здесь осуществлялась реконструкция рассолопромысла по проектам VIII-IX очередей предусматривающая расширение добычи до 18 млн м³ рассола в год. Перевод рассолодобычи на Левобережный участок осуществлялся после 2000 г.

Запасы каменной соли на Яр-Бишкадакском месторождении по состоянию на 1.01.1997 г. составляли 2,22 млрд т по категориям А+Б+С₁ и 0,33 млрд т по категории С₂. Часть запасов (1,55 млрд т) отнесена к забалансовым.

Кроме того, в целиках под руслом р. Белой сосредоточено 1,6 млрд т запасов категорий А+Б+С₁+С₂. Запасы Левобережного участка составляют по категориям А+Б+С₁ 1,2 млрд т соли [5].

В Стерлитамакском районе Предуральской ГПЗ находится Стерлитамакское (Катенька) месторождение каменной соли. Продуктивный пласт мощностью до 46 м залегает на глубинах до 600 м. Содержание NaCl несколько превышает 80 %. Посторонние примеси представлены ангидритом (CaSO₄), гипсом (CaSO₄ · 2H₂O), целестином (SrSO₄), глауберитом (Na₂SO₄ · CaSO₄), магнезитом (MgCO₃) [5].

На рисунке 4 показаны образцы керна из соленосной толщи месторождения Яр-Бишкадак. Образец А представляет чистую соль без примесей представленную минералом галитом — NaCl, образец Б представляет участок переслаивания чистой каменной соли (хорошо растворима) и практически нерастворимых глин.

Вредный для содового производства полигалит (K₂Ca₂Mg(SO₄)₄ · 2H₂O) неравномерно распределен по всему объему полезной толщи. Химический состав соли (в т. ч. распределение калия) изучен недостаточно по результатам анализов проб, отобранных в одной из трех пробуренных скважин. Соляная толща безводна.

Запасы каменной соли на Стерлитамакском месторождении составляют по категории С₁ 20,8 млн т.

В Иглинском районе в составе Предуральской ГПЗ выявлено Лемезинское месторождение, образованное семью пластами каменной соли длиной 4,0 -10,7 и шириной 2,0 -7,5 км. Их суммарная мощность изменяется от 10,4 до 525,8 м, составляет в среднем 202,2 м. Глубина залегания полезной соленосной толщи колеблется от 357,4 до 641,6м (Каменная соль., 1999).

Содержание NaCl варьирует от 74,26 до 98,19 %, составляя в среднем 92,08 %. Количество примесей невелико: СаО-3,22; MgO-сл.; К₂O-0,03; SO₃-2,79; н. о. -1,76 %. В некоторых скважинах отмечена сильвиновая

(КС1) минерализация; соль Лемезинского месторождения пригодна для использования в химической промышленности; для применения в пищевой промышленности потребуются дополнительное изучение её качества. Запасы каменной соли Лемезинского месторождения, составляющие до глубины 500 м 22,9 млн т по категории Р₁ оцениваются в 20,3 млрд т.

Прогнозные ресурсы каменной соли в Стерлибашевском и Федоровском районах Верхне-Бельской ГПЗ оцениваются в 463,8 млрд т, в Иглинском и Архангельском районах Предуральской ГПЗ - в 189,7 млрд т [5].

Общие запасы каменной соли трёх месторождений Оренбургской области, включая отрабатываемое подземным способом Илецкое месторождение, по категориям (А+В+С₁+С₂) по состоянию на 2023 год составили 2246444 тыс. т (Мустафин С.К. и др. 2026).

В настоящее время Илецкое месторождение разрабатывается рудником № 2, мощность добычи которого составляет 1 250 000 тонн в год. Разведанные балансовые запасы объекта составляют 568 406 000 тонн соли. Начиная с 2010 года разработку осуществляет ООО «Руссо́ль», правопреемник ОАО «Илецкосо́ль». Товарная продукция – илецкая соль обладает высоким качеством и характеризуется следующим составом (%): хлористый натрий – не менее 98,873; кальций-ион – не более 0,280; магний-ион – не более 0,012; сульфат-ион – не более 0,524; калий-ион – не более 0,10.

Проведённый на месторождении Яр-Бишкадак анализ данных бурения скважин позволил оценить риски возможных случаев аварийных обрушений в камерах размыва в процессе добычи. Размеры камер рассолопромысла, на участках неслоистого соляного массива по устойчивости кровли могут допускаться в пределах от 150 м для глубины 1300 м и до 250 м на глубине 700 м. Фактические параметры камер исключают возможности проявления катастрофических обрушений, но отдельные вывалы, в целом не представляющие серьёзной опасности для процесса эксплуатации, рассматриваются как неизбежные (Мустафин С.К. и др. 2026)..

Гидрогеологические исследования, проведённые на территории рассолопромысла Стерлитамакского АОТ «Со́да» (РБ) в 1995 -1997 гг. зафиксировали поступление в р. Белая хлористого натрия, по расчётам достигавшего 30 т/сутки. В качестве источника техногенного загрязнения речных вод установлено технологическое хранилище слабых рассолов через дно и борта которого рассол фильтровался в горизонт грунтовых вод (аллювиальный) а затем в составе подземных вод в реку.

В настоящее время на Правобережном участке Яр-Бишкадакского месторождения каменной соли планируется начать работы по консервации трех скважин – № 21, 34 и 51, что является частью программы по сохранению природных ресурсов и предотвращению возможных негативных последствий, которые могут возникнуть из-за использования старых добывающих объектов.

Консервация включает в себя герметизацию скважин и их защиту от внешних воздействий, для обеспечения экологической безопасности прилегающих территорий рассолопромысла. На проведение этих работ выделено около 7 миллиардов рублей. Заявки от компаний-подрядчиков принимались до 7 августа 2025 года. Эти меры направлены на сохранение экосистемы региона и снижение возможных экологических рисков.

Добыча каменной соли методом подземного выщелачивания на месторождении Яр-Бишкадак (Республика Башкортостан) одним из крупнейших в мире предприятий по добыче соли бесшахтным способом связана с экологическими рисками, которые требуют учёта и снижения.

Требуется изоляция соляной залежи от надсоленосных отложений.

Необходим контроль результатов размыва, что требует прогноза устойчивости пород и определения предельно допустимых пролётов рассольных выработок.

Необходима консервация скважин, предусматривающая проведения комплекса мероприятий по герметизации и защите скважин от внешнего воздействия (Мустафин С.К. и др. 2026).

Библиографический список

1. Беленицкая Г.А. Природные соляно-нафтидные узлы – глобальные центры надежд и угроз (на примере бассейна Мексиканского залива). *Пространство и время* 3(9) /2012. – С. 193-207.
2. Беленицкая, Г.А. Тектонические аспекты пространственного и временного распределения соленосных бассейнов мира [Электронный ресурс]. Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. – 2013. – Т. 4. – Вып. 1: Система планета Земля. – 31 с.
3. Боярко Г. Ю., Хатьков В. Ю. Обзор современного состояния соляной промышленности России. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2021. Т. 332. № 5. 179–190.
4. Каменная соль. Минерально-производственный комплекс неметаллических полезных ископаемых Республики Башкортостан. Казань. Изд-во Казанского университета. 1999. – С. 143-146
5. Каратыгин Е.П., Старостенков В.Л. Развитие геотехнологических методов при разработке Яр-Бишкадакского месторождения каменной соли. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) «Неделя горняка - 2003» семинар* 13. 2003 г. – 6 с.

6. Мустафин С.К., Сагитдинова Н.Х. Месторождения каменной соли в Республике Башкортостан: геология, запасы, состав сырья, перспективы и экологические риски освоения. Молодой ученый. – 2026. – № 6 (609). – С. 51-56.
7. Salt. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, February 2026. P. 160-161).

© Сагитдинова Н.Х., Мустафин С.К., 2026

УДК 553.6. 553.061. 553.041

Э.А. Фаткуллин

соискатель,

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

Научный руководитель: **С.К. Мустафин**

д-р. геол.-мин. наук, профессор,

Уфимский университет науки и технологий, академик РАЕН г. Уфа

ЦЕОЛИТЫ КАК ВОСТРЕБОВАННЫЙ ВИД МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ: ГЕОЛОГИЯ, ГЕОГРАФИЯ, РЫНОК

Аннотация. Рассматриваются геологические и экономические аспекты цеолитов как востребованного вида современного минерального сырья мирового рынка. Характеризуются перспективы освоения объектов цеолитов в Российской Федерации и Республике Башкортостан. Отмечается динамичный рост мирового рынка цеолитов.

Ключевые слова. Цеолиты, ломонтит, цеолитоносные провинции и районы, перспективы освоения цеолитов.

ZEOLITES AS A POPULAR TYPE OF MINERAL RAW MATERIALS: GEOLOGY, GEOGRAPHY, AND MARKET

Scientific supervisor: S.K. Mustafin

Dr. geol.-min. Sciences, Professor, Ufa University of Science and Technology, Academician of the Russian

Academy of Natural Sciences, Ufa

E.A. Fatkullin

Applicant, Ufa University of Science and Technology, Ufa

Abstract. The article discusses the geological and economic aspects of zeolites as a popular type of modern mineral raw materials on the global market. It also highlights the prospects for developing zeolite deposits in the Russian Federation and the Republic of Bashkortostan. The article notes the dynamic growth of the global zeolite market.

Keywords. Zeolites, lomontite, zeolite-bearing provinces and regions, prospects for developing zeolites.

Цеолиты как как востребованное сырьё являются многоцелевыми минералами, обладающими уникальными свойствами ионного обмена, молекулярного сита, катализа и абсорбции.

Цеолиты, образующие промышленные эксплуатирующиеся месторождения, имеют широкую географию распространение (табл. 1); на территории Российской Федерации (РФ) распространены повсеместно (Белосов П.Е. и др. 2024)

Таблица 1

Современный уровень промышленной добычи цеолитов ведущими мировыми странами-производителями (Zeolites (Natural, 2026))

	Горная добыча, млн т		Ресурсы
	2024 г.	2025 г.	
Соединённые штаты Америки	76,900	80,000	Данные по миру были недоступны, но запасы оценивались как значительные.
Чили	500	240	
Китай	150,000	150,000	
Куба	14,900	15,000	
Грузия	243,000	240,000	
Венгрия	30,000	31,000	
Индонезия	120,000	120,000	
Иордания	1,000	1,000	
Республика Корея	140,000	160,000	

Филиппины	6,320	6,300	
Российская Федерация	130,000	130,000	
Словакия	273,000	280,000	
Турция	57,100	58,000	
Мир в целом (округлённо)	1,240,000	1,300,000	

На территории РФ выявлено порядка 120 месторождений и проявлений цеолитов, однако государственным балансом учитываются всего 18 месторождений с запасами категории A+B+C₁ 594 млн т и C₂ 799 млн т. (табл. 1) (Белоусов П.Е. и др. 2024). По происхождению различаются цеолиты: 1) осадочного; 2) вулканогенно-осадочного и гидротермального; 3) туфогенно-осадочного диагенетического; 4) гидротермально-метасоматического генетических типов. Сравнительно невысокие объёмы добычи цеолитинового сырья в РФ обусловлено расположением основных месторождений в труднодоступных районах; освоение требует больших инвестиций в инфраструктуру.

Выделяется пять цеолитинозных провинций: Центральная, Южная, Уральская, Сибирская и Дальневосточная. Практически весь добываемый материал используется в качестве подстилок животным, грунта для домашних растений, ка добавки в бетон и для производства пеностекла. В высокотехнологических отраслях использование цеолитов, пока находится в стадии развития (Белоусов П.Е. и др. 2024)



Рис. 3. Обзорная карта месторождений и проявлений цеолита Российской Федерации. Наименования объектов см. в табл. 1 (Белоусов П.Е.и др. 2024)

Таблица 2

Месторождения и проявления цеолитов Российской Федерации (Белоусов П.Е. и др. 2024).

Месторождение, (область),	Состояние	Возраст	Генетический тип	Основной минерал	Среднее содерж., %	Запасы, млн т
1. Хотыненское (Орловская обл.)	разраб.	K ₂	Вулк-осадоч	кл	20-40	6,9
2. Люльинское (ХМАО)	н.п.о.	D ₂₋₃	Вулк-осадоч.	кл, мр, шб	70	0,018
3. Мысовское (ХМАО)	н.п.о.	D ₂₋₃	Вулк-осадоч.	кл, мр, шб	>90	0,027
4. Зап-Пегасский (Кемеровская обл.)	н.п.о.	T	Вулк-осадоч.	гл, кл	50-60	5,9
5. Мухор-Булыкский (Респ. Бурятия)	подгот.	J	Гидротерм.	мр, кл	60	1,7
6. Бодинское	н.п.о.	J ₃ -K ₁	Гидротерм.	кл, мр	70	9,8
7. Мохейский	разраб.		Гидротерм.	кл	50-70	383,5

8. Шивуртуйское	разраб.		Вулк-осадоч.	кл	50-80	803,2
9. Хонгуруу (Республика СахаЯкутия)	разраб.	D ₃ -C ₁	Вулк-осадоч.	кл, гл	70-80	11,3
10. Вангинское (Амурская обл.)	н.п.о.	K ₁	Гидротерм. (?)	кл, гл	50-60	0,9
11. Куликовское (Амурская обл.)	н.п.о.	K ₂	Гидротерм. (?)	мр, кл	40	14,1
12. Середочное (Хабаровский край)	н.п.о.	p ₁₋₃	Гидротерм. (?)	мр, кл	50-60	52,1
13. Чугуевское (Приморский край)	разраб.		Гидротерм.	кл	60-80	20,6
14. Флора (Магаданская область)	н.п.о.	K ₂	Гидротерм.	лм	40	12,9
15. Тобутский (Сахалинская обл.)	нерас. фонд	p ₃ .N ₁	Вулк-осадоч.	кл	60	31,8
16. Лютогское (Сахалинская обл.)	н.п.о.		Вулк-осадоч.	кл	50-60	11,5
17. Пастбищное (Чукотский АО)	н.п.о.	K ₂	Вулк-осадоч.	кл	40-90	7,1
18. Ягоднинское (Камчатский край)	разраб.	N ₂	Гидротерм.	кл	70	19,7
*Сокращения: кл – клиноптилолит; гл – гейландит; мр – морденит; шб – шабазит; лм – ломонит						
На балансе не числятся 23 месторождения в том числе 14 клиноптилолит-гейландитовых. Ломонит - Флора.						

Цеолиты Центральной и Южной провинций в основном относятся к осадочному типу и приурочены к месторождениям опал-кристобалитового сырья и карбонатным породам – диатомитам, трепелам, опокам, известнякам, мергелям и имеют меловой возраст. Разрабатывается Хотынецкое месторождение с запасами категории A+B+C₁ порядка 6,9 млн т.

В Уральской провинции Люльинское и Мысовское месторождения с запасами категории A+B+C₁ и C₂ порядка 34,6 и 27,7 тыс. т соответственно. приурочены к вулканогенно-осадочным отложениям среднего и верхнего девона.

Сибирскую провинцию представляет Пегасское месторождение в Кемеровской области с запасами 5,9 млн т категории A+B+C₁.

Запасы месторождений пяти цеолитоносных районов: Приморского, Охотско-Чукотского, Сахалинского, Курильского и Камчатского Дальневосточная цеолитоносной провинция составляют по категории A+B+C₁ 581,2 млн т и C₂ 799,7 млн т (Белоусов и др. 2024).

Добыча цеолитовых пород имеет незначительные масштабы, разрабатывается только Хотынецкое (Орловская область), Хонгуруу (Республика Саха), Холинское (Забайкальский край) и Чугуевское (Приморский край) месторождения с суммарной годовой добычей порядка 60–80 тыс. т.

Единственным промышленным объектом цеолитов, сырьё которого представлено ломонитом, как и на объектах Республики Башкортостан, является магаданское месторождение «Флора», ресурсный потенциал которого обусловлен средними содержаниями ломонита в рудах, составляющие 24-56 % и разведанные запасы по категории C₂ равные 10,6 млн. т. Месторождение относится к нераспределенному государственному фонду недр и планируется к лицензированию через аукцион. Строительство предприятия по производству продукции из цеолитов, продукция которого может быть использована в сельском хозяйстве в виде добавок к корму животных, удобрений, в промышленности – для очистки сточных вод, в качестве добавок к цементу.

К настоящему времени в недрах Республики Башкортостан (РБ) установлены несколько типов цеолитовой (ломонитовой) минерализации (Минерально-производственный комплекс, 1999):

1. В поствулканических изменённых вулканогенных и вулканогенно-осадочных породах;
2. В гипергенных метасоматитах (Баймакский и Бурибайский рудные районы);
3. В зонах разломов и насыщенной тектонической трещиноватости (Вознесенско-Присакмарская, Кизило-Уртадымская, Ирендыкская)
4. В рудах и гидротермально-изменённых породах на медно-колчеданных и золото-полиметаллических месторождениях (Баймакский рудный район);
5. Диагенетические в вулканогенных образованиях
6. В опал-кристобалитовых породах юрского возраста.

В качестве перспективного объекта практический интерес представляют проявления диагенетического ломонита, приуроченные к верхам улутаусской свиты среднего и низам колтубанской свиты верхнего девона.

В восточном борту Сибайского карьера неравномерная цеолитизация приурочена к определённым горизонтам в туфах основного и смешанного составов, туфопесчаниках, реже в туфоалевролитах и туфоконглоблекциях.

В Баймакском районе перспективны е проявления ломонитсодержащих пород – Сибайское, Карышкинское, Худолазовская плотина, Колтубанское – которые в виде пластовых залежей локализуются в девонских пятнистых мелко -, средне – и грубообломочных туфах, туфопесчаниках и туфоалевролитах.

Ломонтитсодержащие породы в восточном борту Сибайского карьера образуют мощную (более 50 м) зону длиной до 1000 м и шириной 50 -100 м; до глубины 50 м ресурсы по категории P₁ оценены в 6 млн т.

На Карышкинском участке ломонтитсодержащие породы прослежены в полосе длиной до 500 м, шириной 50-100 м. на глубину 13-15 м. Прогнозные ресурсы их оценены по категории P₁ в 1,0 млн т. Возможен их прирост по простиранию и на глубину.

По другим участкам прогнозные ресурсы в отдельности не подсчитывались. Участок Худолазовская плотина занят коллективными садами.

По Сибайско-Колтубан-Карышкинской полосе ломонтитсодержащих пород прогнозные ресурсы оценены (до глубины 50 м) по категории P₂ в 30–50 млн т. (Минерально-производственный комплекс, 1999):

Кроме этой полосы перспективы выявления залежей цеолитсодержащих пород имеются на северной оконечности Худолазовского водохранилища у деревень Мукасево, Иткулово и на Матраевском рудопоявлении (Минерально-производственный комплекс, 1999).

Представляют интерес и цеолиты, развитые над второй залежью Юбилейного месторождения. Суммарные прогнозные ресурсы ломонтитсодержащих пород этих проявлений 50 млн т по категории P₃.

Типичный для проявлений Баймакского района ломонтит является недостаточно термо- и кислотоустойчив, что исключает возможность его использования в адсорбционных и ионообменных технологиях.

К настоящему времени доказана (в том числе прямыми испытаниями) возможность применения ломонтита в качестве: 1) - кормовой добавки в животноводстве и птицеводстве, повышающей надои на 8-11%, сохранность телят на 7-10%, поросят на 11%, прирост живой массы цыплят на 11%;; 2)- активной добавки к цементу; 3) - сырья для производства заполнителей бетона.

Комплексные исследования ЦНИИгеолнеруд, г Казань (1994 г.) позволили рекомендовать природный и активированный цеолит фракций (4,0 – 6,0) мм в процессах: 1) осушения нефтяных газов и воздуха на компрессорных установках; 2) - предварительной очистки дымовых газов ТЭЦ от SO₂ при начальном содержании 1 – 2% по объёму; 3) доочистка вод от ионов Cu²⁺ и ΣFe. Специалистами МП «Литос» рекомендовано проведение технологических исследований ломонтита в следующих направлениях: 1) поглощение радиоизотопов стронция из сточных вод; 2) мелиорация почв; 3) составление тепличных грунтов; 4) производство гербицидов и других вносимых в почвы препаратов; 4) консервация картофеля и овощей для зимнего хранения.

Возможно использование ломонтита в других областях, где качество цеолитового материала жёстко не регламентировано (Минерально-производственный комплекс, 1999).

Цеолиты в трепелах и опоках юрского возраста, развитых в северной части Хайбуллинского района (проявления Суурлы-Тубе и др.), изучены очень слабо. Минеральный состав и качественные показатели не исследованы, прогнозные ресурсы не оценены.

В Тузбекском месторождении суммарное содержание в породе цеолитовых минералов составляет 51-53% в том числе ломонтита – 26,1%, птилолита – 17,0%, стильбита – 5,0% и эрионита – 2,0%.

Тузбекское месторождение природных цеолитов было выявлено в 1999 году в Баймакском районе РБ и занимает площадь около 7 га на бортах ручья Тузбек. Цеолиты имеют следующий химический состав (%): SiO₂ - 60,60-66,80, Al₂O₃ - 12,30-16,40, CaO - 4,05-5,00, Na₂O - 2,31-3,51, Fe₂O₃ - 2,56-2,60, MgO - 1,09-2,22, FeO - 0,56-1,35, TiO₂ - 0,58-0,74, K₂O - 0,27-0,52, P₂O₅ - 0,13-0,17, H₂O - 0,30-0,70, MnO - 0,05-0,08, SO₃<0,10. Суммарное содержание цеолитовых минералов в среднем составляет 51–53%, остальную часть занимают полевые шпаты, кварц, хлорит. Содержание токсических веществ (Fe, As, Pb, Cd, Hg, Cr, Zn, F) и металломагнитной примеси – не превышает минимально допустимых уровней (Бурдаков и др., 1993).

Проведенные полевые опыты с природными цеолитами Тузбекского месторождения и их производственное испытание позволили заключить, что: внесение природного цеолита оказало положительное влияние на органообразовательные процессы яровой пшеницы, что ускорило процессы развития и созревания растений; 2) способствовало оптимизации агрофизических и агрохимических свойств почвы: снижению плотности, повышению содержания агрономически ценных агрегатов, их водопрочности, повышению содержания гумуса и суммы поглощенных оснований (Суюндуков Я.Т. и др.2017).

Залежь ломонтитсодержащих пород установленная на Балапанской площади имеет изометричную форму площадью 94636 м². Мощность вскрыши варьирует от 2.7 до 9.0 м, в среднем 5.9 м. Средняя мощность ломонтитсодержащих пород составляет 34.4 м; прогнозные ресурсы по категории P₁ оценены в 8.5 млн т. Средневзвешенное содержание ломонтита по Балапанскому проявлению – 29%, средневзвешенный минеральный состав по продуктивным скважинам и в целом по проявлению приведен в табл. 1.

Таблица 3

Средневзвешенный минеральный состав Балапанского проявления (Фаткуллин Э.А. и др., 2017)

Минерал	Фазовый состав, мас. %			
	№ скважины			Средневзвешенное по проявлению
	С-16	С-17	С-19	
ломонтит	25.8	37.2	31.0	29.0
плаггиоклаз	31.2	15.0	17.5	25.7
хлорит	14.2	0.0	0.0	~9.0
кварц	9.9	9.6	14.0	10.5
пумпеллиит	3.0	16.0	8.3	6.5
амфибол	9.7	0.0	0.0	6.1
слюда	0.5	0.6	1.3	~0.8
кальцит	0.0	0.6	2.3	~0.5
Калиевый полевой шпат	3.3	0.0	0.0	~2.1

Исследования проводились в АТСИЦ ФГУП «ЦНИИгеолнеруд», исполнители Ф.А. Рахимова, В.В. Власов.

Промышленные содержания ломонтита в рудах Балапанской площади по данным фазового анализа 22-24% (табл. 4).

Результаты проведенных комплексных аналитических исследований позволяют заключить, что ломонтитсодержащие породы Балапанской площади, по основным физико-механическим параметрам, соответствуют требованиям предъявляемой промышленностью и могут использоваться в следующих технологических процессах: 1) очистки сточных карьерных вод от ионов тяжелых металлов; 2) очистки дизельных и растительных масел; 3) в качестве кормодобавок для скота; 4) реабилитации почв и др. (Фаткуллин Э.А. и др., 2017).

Таблица 4

Фазовый состав ломонтитсодержащих пород (Фаткуллин Э.А. и др., 2017)

Минерал	Фазовый состав, мас. %		
	№ проб		
	Б-1	Б-II	Б-Х
ломонтит	23	24	22
плаггиоклаз	33	32	34
хлорит	14	14	16
кварц	11	10	7
пумпеллиит	9	5	5
амфибол	7	10	9
кальцит	*	1	1
калиевый полевой шпат	3	3	6
слюда	следы	1	*

Исследования проводились в АТСИЦ ФГУП «ЦНИИгеолнеруд», исполнители Ф.А. Рахимова, В.В. Власов.

Таблица 5

Основные технологические показатели ломонтитсодержащих пород при очистке нерафинированного подсолнечного и дизельного масла (Фаткуллин Э.А. и др., 2017)

Масло	Цвет, ед. ЦНТ		Отбеливающая способность, %	Маслоемкость, %
	исходный	после очистки		
Нерафинированное подсолнечное	2.0	1.5	25	11.4
Дизельное	4.5	4.5	0	12.5

Примечание: АТСИЦ ФГУП «ЦНИИгеолнеруд», исполнитель Т. Н. Чуприна

Природные цеолиты в РБ из других регионов РФ не завозятся, поскольку в регионе действуют одни из самых мощных производителей синтетических цеолитов в РФ - ГУП «Ишимбайский специализированный завод катализаторов», ОАО «Салаватнефтеоргсинтез» и АО «Каучук».

Объём мирового рынка природных цеолитов превысил 9,4 млрд \$ США и, как ожидается, к 2035 г. превысит порог 16,06 млрд \$ США, что соответствует среднегодовому темпу роста более 5,5% в прогнозируемый период, то есть с 2026 по 2035 год. В 2026 г. объём рынка цеолитов оценивается в 9,87 млрд \$ США.

Ожидается, что к 2035 году доля природного цеолита на общем рынке цеолитов составит 54%, что обусловлено спросом на экологически чистые и устойчивые материалы для различных применений. Доля катализаторов на рынке цеолитов к 2035 году составит 44%, что обусловлено ростом нефтепереработки.

Для вовлечения в процесс оптимальной промышленной добычи ломонтитсодержащего минерального сырья различных месторождений и проявлений РБ рекомендуется:

1) проведение комплекса разведочных работ для уточнения геологической структуры, формы и условий залегания ломонтитсодержащих руд,

2) комплексное изучение их качественных характеристик, дополнительное исследование технологических характеристик ломонтитсодержащих пород для отработки надёжных параметров эффективного промышленного освоения.

Библиографический список

1. Белоусов П.Е., Кайлачаков П.Э., Румянцева А.О. Минерально-сырьевая база цеолитов России. *Георесурсы*. 2024; 26(4). – С. 260-274.
2. Бурдаков, А.П. Салихов Д.Н., Юсупов С.Ш. Цеолиты юго – востока Башкирии: препринт, - Уфа: УНЦ РАН, 1993. - 24 с.
3. Минерально-производственный комплекс неметаллических полезных ископаемых Республики Башкортостан. Казань. Изд-во Казанского университета. 1999. – 288 с.
4. Суюндуков Я.Т., Сафин Х.М., Суюндукова М.Б., Хасанова Р.Ф. Использование природных цеолитов Зауралья Башкортостана для повышения плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур (рекомендации производству) / – Сибай, СИЦ – филиал ГУП РБ Издательский дом «Республика Башкортостан», 2017 - 40 с.
5. Фаткуллин Э.А., Шафиков Р.Д. О выявлении цеолитов в Абзелиловском районе Республики Башкортостан. Вестник пермского университета. 2017 Геология Том 16, № 2. - С 156-166.
6. (Zeolites (Natural) U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, February 2026. P. 210-211.)

© Фаткуллин Э.А., Мустафин С.К., 2026

УДК 552.321.6+553.46

Т.Д. Шабутдинов

Институт геологии УФИЦ РАН, г. Уфа

Научный руководитель: **Д.Е. Савельев**,

д-р. геол.-мин. наук, главный научный сотрудник, Институт геологии УФИЦ РАН, г. Уфа

МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ХРОМИТИТОВ САРАНГАЕВСКОГО ХРОМИТОПРОЯВЛЕНИЯ (СРЕДНИЙ КРАКА)

Аннотация. Проведено изучение минералогического состава хромититов Сарангаевского рудопроявления массива Средний Крака, принадлежность которого к мантийному или коровому разрезу затруднена вследствие интенсивной серпентинизации и нарушенности этой территории. Полученные результаты позволяют говорить, что хромититы данного проявления сложены такими минералами, как хромшпинелиды, серпентин, оливин, ромбические и моноклинные пироксены, амфиболы, интерметаллиды, сульфиды и арсениды Fe, Ni, Cu, минералы платиновой группы. Хромшпинелиды характеризуются высокоглиноземистым составом. На классификационной диаграмме Н.В. Павлова фигуративные точки рассчитанных формульных коэффициентов попадают в поля хромпикотита и алюмохромита, реже – субферриалюмохромита и хромита. #Cr варьирует в пределах 0,44–0,60, реже доходит до 0,73. #Mg составляет 0,37–0,73. Серпентин представлен альфазардитом (петельчатый серпентином). Акцессорные минералы, обнаруженные в хромититах: форстерит, энстатит, диопсид, магнезиальная роговая обманка, паргасит, эденит, аварунит, хизлевудит, борнит, диенерит, лаурит. На основе обнаруженных в аншлифах зёрен оливинов и пироксенов были рассчитаны температуры и

давления минеральных равновесий по оливин-шпинелевым и двупироксеновым геотермометрам, а также гео- и оксибарометрам. Полученные значения температур варьируют в интервале 650–1050°C при давлении 5–5,5 кбар и фугитивности кислорода $\Delta\log(fO_2) = +0,71 \dots +2,51$.

Ключевые слова. Хромпикотит, Средний Крака, переходный мантийно-коровый комплекс, лаурит.

MINERALOGICAL CHARACTERISTICS OF CHROMITITES OF THE SARANGAEVSKY CHROMITE OCCURRENCE (MIDDLE KRAKA)

Abstract. A study of the mineralogical composition of chromitites from the Sarangayevsky ore occurrence of the Central Kraka massif was conducted. The attribution of these chromitites to the mantle or crustal section is difficult due to intense serpentinization and disturbance of this area. The obtained results allow us to conclude that the chromitites of this occurrence are composed of minerals such as chrome spinels, serpentine, olivine, orthorhombic and monoclinic pyroxenes, amphiboles, intermetallic compounds, sulfides and arsenides of Fe, Ni, Cu, and platinum group minerals. The chrome spinels are characterized by a high-alumina composition. In N.V. Pavlov's classification diagram, the figurative points of the calculated formula coefficients fall in the fields of chrompicotite and aluminochromite, less commonly subferrialluminochromite and chromite. #Cr varies between 0.44 and 0.60, rarely reaching 0.73. Mg ranges from 0.37 to 0.73. Serpentine is represented by alpha-lizardite (loop serpentine). Accessory minerals found in the chromitites include forsterite, enstatite, diopside, magnesian hornblende, pargasite, edenite, awaruite, heazlewoodite, bornite, dienerite, and laurite. Based on the olivine and pyroxene grains found in polished sections, olivine-spinel and two-pyroxene geothermometers, as well as geo- and oxybarometers, were calculated. The obtained temperature values range from 650 to 1050°C at a pressure of 5 to 5.5 kbar and oxygen fugacity of $\Delta\log(fO_2) = +0.71$ to $+2.51$.

Keywords. Chr-picotite, Middle Kraka, mantle-crust transition zone, laurite.

Подавляющее количество месторождений в офиолитах располагается в мантийном разрезе офиолитов, где неизменно вмещается дунитовыми телами различного размера и морфологии (Cassard et al., 1981; Miura et al., 2012). Значительно реже хромититы образуют скопления внутри переходного мантийно-корового комплекса на границе мантийных тектонитов (лерцолитов, гарцбургитов) и существенно мафитовых пород (габбро, норитов, апогаббровых амфиболитов), которые залегают в основании корового комплекса офиолитов.

Оба описанных выше типа оруденения встречаются в пределах массива Средний Крака, но в самой южной его части их уверенное отнесение к тому или иному типу затруднено вследствие интенсивной серпентинизации и нарушения разреза в области перехода от мантийного разреза к коровому. Основной задачей настоящего исследования является детальная минералогическая характеристика одного из рудопроявлений, находящихся в области данного перехода.

Сарангаевское хромитопроявление расположено в южной части массива Средний Крака, вблизи «петрологической границы Мохо» (ПГМ), разделяющей образования так называемых мантийного и корового разрезов офиолитовой ассоциации. От ПГМ на восток обнажаются мантийные тектониты, представленные краевыми дунитами, перемежающимися на протяжении около 1,5 км с породами дунит-гарцбургитового комплекса, далее к востоку они сменяются преобладающими лерцолитами. Западнее ПГМ разрез представлен незакономерным чередованием на протяжении около 1 км верлитов, клинопироксенитов, серпентинитов и меланократовых гнейсовидных габбро. Затем следует существенно мафитовая часть разреза с преобладанием однородного крупнозернистого роговообманкового габбро. Помимо описываемого Сарангаевского рудопроявления, на рассматриваемой территории расположено множество хромитопроявлений различного масштаба. Наиболее значимые из них приурочены к мощным дунитовым телам в краевой зоне мантийных тектонитов. Среди них: Правосаксейская рудная зона, месторождение Левый Саксей, Шатран, Ключевское рудопроявление, месторождения Акбура, Хамитовское. Небольшие рудопроявления железистых хромититов с высокими содержаниями платиноидов приурочены к верлит-клинопироксенитовой зоне. Кроме того, ряд мелких рудопроявлений приурочен к серпентинитам меланжа, проникающим вдоль долины ручья Черный Ключ внутрь мафитового разреза.

Отобранные в ходе полевых работ 2024 годов образцы хромититов изучались в виде аншлифов на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 4 Compact с анализатором Xplorer 15 (Oxford Instruments, Великобритания) в Институте геологии УФИЦ РАН, г.Уфа. Обработка спектров производилась автоматически при помощи программного пакета AzTec One с использованием методики TrueQ. При съемке использованы следующие установки: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда в диапазоне 3-4 нА, время накопления спектра в точке 60 секунд в режиме «Point&ID». На основе спектров химического состава рассчитывались формульные коэффициенты для пороодообразующих и аксессуарных минералов. Аббревиатуры, использованные на рисунках, соответствуют утвержденным в Международном справочнике по новым минералам, номенклатуре и классификации (IMA-CNMC) (Warr, 2021).

Хромититы Сарангаевского хромитопроявления характеризуются богатым минералогическим составом. Рудообразующие минералы представлены хромшпинелидами и серпентином, занимающим интерстиции между рудными минералами. Встреченные в образцах хромититов шпинелиды ((MgFe)(Cr,Al,Fe)₂O₄) по классификации Н.В. Павлова образуют ряд от хромпикотита до алюмохромита. За

редким исключением встречаются субферриаломохромит и хромит. Магнезиальность (#Mg) составляет 0,37–0,73, хромистость (#Cr) – 0,44–0,73.

Серпентин ($Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$), развитый по оливину и ортопироксену, представлен альфа-лизардитом по классификации А.С. Варлакова (Варлаков, 1986) или петельчатым серпентином по классификации В.Р. Артемова (Артемов, Кузнецова, 1979). Акцессорные минералы представлены оливином, пироксенами, амфиболами, интерметаллидами, сульфидами, арсенидами Fe, Ni, Cu и минералами платиновой группы (МПГ). Оливин ($(Mg,Fe)_2SiO_4$), встречающийся как внутри, так и в интерстициях между рудными зёрнами хромититов, по химическому составу соответствует форстериту ($Fe_{0.94-0.95}$). Обнаруженные в хромититах зёрна пироксена по химическому составу соответствуют энстатиту ($En_{0.92-0.93}Wo_{0.01}Fs_{0.06-0.07}$) и диопсиду ($En_{0.48-0.51}Wo_{0.47-0.50}Fs_{0.01-0.02}$). Амфиболы характеризуются разнообразным составом от магнезиальной роговой обманки ($Ca_2[Mg_4(Al,Fe^{3+})]Si_7AlO_{22}(OH)_2$ до паргасита ($NaCa_2(Mg_4Al)Si_6Al_2O_{22}(OH)_2$) и эденита ($NaCa_2Mg_5Si_7AlO_{22}(OH)_2$).

На основе обнаруженных в аншлифах зёрен оливинов и пироксенов были рассчитаны температуры и давления минеральных равновесий по оливин-шпинелевым (Fabries, 1979; Roeder et al., 1979; Ono, 1983) и двупироксеновым (Wood and Banno, 1973; Wells, 1977; Putrika, 2008) геотермометрам, а также гео- и оксибарометрам по (Ballhaus et al., 1991; Putrika, 2008). Полученный диапазон температур варьирует в пределах 650–1050°C при давлении 5–5,5 кбар и фугитивности кислорода $\Delta\log(fO_2) = +0,71\dots+2,51$. Причем установление равновесия в пироксенах происходило при температурах стабильно выше на 200–250°C, чем в парах оливина и хромшпинелида. Это объясняется различной скоростью диффузии Fe и Mg в рассматриваемых парах. Наиболее быстро равновесие устанавливается между сосуществующими пироксенами, тогда как между оливином и шпинелидами этот процесс уравнивания более длительный во времени и прекращается при более низких температурах. Распределение рассчитанных формульных коэффициентов для амфиболов на дискриминационных диаграммах показывает, что они преимущественно магматические и имеют корово-мантийный источник. Что касается механизма концентрации сульфидов платиноидов в хромититах, то он дискуссионен. Один из возможных вариантов – концентрация платиноидов в хромититах в результате частичного плавления ультрамафитов. Известно, что в неистощенных лерцолитах в ассоциации с пироксенами (Gonzalez-Jimenez et al., 2014; Савельев, Гатауллин, 2023) часто отмечаются довольно обильные выделения сульфидов основных металлов (пирротин, пентландит, халькопирит), которые могут содержать значительные количества ЭПГ. В процессе частичного плавления и распада пироксенов и сульфидов, тугоплавкие платиноиды могли быть включены в новообразованный хромшпинелид рестита (Saveliev, 2024).

Исследования выполнены за счет темы Госзадания (FMRS-2025-0014).

Библиографический список

1. Артемов В.Р., Кузнецова В.Н. Кiemбайское месторождение хризотил-асбеста. М.: Недра, 1979. 233 с.
2. Варлаков А.С. Петрология процессов серпентинизации гипербазитов складчатых областей. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986. 224 с.
3. Савельев Д.Е., Гатауллин Р.А. Акцессорная платиноидная минерализация в лерцолитах массива Северный Крак (Южный Урал) // Георесурсы, 2023. Т. 25. № 3. С. 208–215. <https://doi.org/10.18599/grs.2023.3.24>.
4. Cassard D., Nicolas A., Rabinowitch M., Moutte J., Leblanc M., Prinzhofer A. Structural Classification of Chromite Pods in Southern New Caledonia // Econ. Geology. 1981. Vol. 76. P. 805–831.
5. Ballhaus C., Berry R.F., Green D.H. High-pressure experimental calibration of the olivine-orthopyroxene-spinel oxygen geobarometer: implications for the oxidation state of the upper mantle // Contribution to Mineralogy and Petrology. 1991. Vol. 107. P. 27–40.
6. Fabries J. Spinel-olivine geothermometry in peridotites from ultramafic complexes. Contribution to Mineralogy and Petrology. 1979. Vol. 69, P. 329–336. <https://doi.org/10.1007/BF00372258>
7. Gonzalez-Jimenez J.M., Griffin W.L., Gervilla F., Proenza J.A., O'Reilly S.Y., Pearson N.J. Chromitites in ophiolites: How, where, when, why? Part I. A review and new ideas on the origin and significance of platinum-group minerals // Lithos. 2014. Vol.189. P. 127–139. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2013.06.016>
8. Leake B.E., Woolley A.R., Arps C.E.S., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne W.C., Kato A., Kisch K.J., Krivovichev V.G., Lithout K., Laird J., Mandarino J.A., Maresch W.V., Nickel E.A., Rock N.M.S., Schumacher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.N., Ungaretti L., Whittaker E.J.W., Youzhi G. Nomenclature of amphiboles; report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association commission on new minerals and mineral names // Canadian Mineralogist. 1997. Vol. 35. P. 219–246.
9. Miura M., Arai S., Ahmed A.H., Mizukami T., Okuno M., Yamamoto S. Podiform chromitite classification revisited: a comparison of discordant and concordant chromitite pods from Wadi Hilti, northern Oman ophiolite // Journal of Asian Earth Sciences. 2012. Vol. 59. P.52–61.
10. Ono A. Fe-Mg partitioning between spinel and olivine // Journal of the Japanese Association of Mineralogists, Petrologists and Economic Geologists. 1983. Vol. 78. P. 115–122.
11. Roeder R.L., Campbell I.H., Jamieson H.E. A Re-Evaluation of the Olivine-Spinel Geothermometer // Contribution to Mineralogy and Petrology. 1979. Vol.68. P. 325–334. <https://doi.org/10.1007/BF00371554>

12. Saveliev D.E. Chromitites and associated mineralization of the Akkarga ophiolitic massif in the southeastern Urals (Russia) // *Journal of Asian Earth Science*. 2024. Vol. 273. P. 1–24.
13. Warr L.N. IMA–CNMNC approved mineral symbols // *Mineralogical Magazine*. 2021. Vol. 85. P. 291–320. DOI: <https://doi.org/10.1180/mgm.2021.43>
14. Wells P.R.A. Pyroxene thermometry in simple and complex systems // *Contribution to Mineralogy and Petrology*. 1977. Vol. 62. P. 129–139. <https://doi.org/10.1007/BF00372872>
15. Wood B.J., Banno S. Garnet-orthopyroxene and orthopyroxene-clinopyroxene relationships in simple and complex systems // *Contribution to Mineralogy and Petrology*. 1973. Vol.42. P. 109–124. <https://doi.org/10.1007/BF00371501>.

© Шабутдинов Т.Д., Савельев Д.Е., 2026

УДК 556.314(470.5)

Т.Д. Шабутдинов,

Институт геологии УФИЦ РАН, г. Уфа

Р.А. Гагауллин,

Институт геологии УФИЦ РАН, г. Уфа

Научный руководитель: **А.В. Сначёв,**

кандидат. геол.-мин. наук, ведущий научный сотрудник, Институт геологии УФИЦ РАН, г. Уфа
доцент кафедры геологии, гидрометеорологии и геоэкологии, Уфимский университет науки и технологий,
г. Уфа

ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРРИТОРИИ МАССИВОВ КРАКА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Аннотация. Проведено изучение подземных вод гидрокарбонатно-магниевого состава, приуроченных к офиолитовым массивам Крака. Были проанализированы пробы воды из водопунктов как территории распространения ультрамафитов, так и вмещающих их палеозойских отложений среднего ордовика-нижнего карбона и зоны распространения полимиктового меланжа. Наблюдается четкая закономерность в изменении химического состава воды: от вмещающих пород со сложными (гидрокарбонатно-сульфатно-кальциево-натриевым, сульфатно-гидрокарбонатно-натриево-магниевым, сульфатно-гидрокарбонатно-магниево-кальциевым, сульфатно-гидрокарбонатно-магниево-натриево-кальциевым и др.) составами к более простому гидрокарбонатно-магниевому территории массивов Крака. Минерализация варьирует в пределах 0,04–0,9 г/дм³, общая жёсткость – 0,2–3,39 ммоль/дм³, pH среды – 6,8–8,9. Полученные значения в изученных водоисточниках не превышают предельно допустимых концентраций (ПДК) для питьевых вод (СанПиН 1.2.3685–21). Повышенные содержания магния (до 60–70 мг/дм³), в соответствии с ГОСТ Р 54316–2020, позволяют использовать подземные воды этой территории в качестве столовых минеральных.

Ключевые слова. Гидрокарбонатно-магниево-подземные воды, ультраосновные породы, массивы Крака, Зилаирский синклиорий.

HYDROGEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE TERRITORY OF THE KRAKA MASSIF (SOUTHERN URALS)

Abstract. A study of magnesium-bicarbonate groundwater associated with the Kraka ophiolite massifs was conducted. Water samples from water points in both the ultramafic area and the host Middle Ordovician-Lower Carbonian Paleozoic deposits and the polymictic mélange zone were analyzed. A clear pattern in the change in the chemical composition of the water was observed: from host rocks with complex compositions (sodium-calcium-sulfate-bicarbonate, magnesium-sodium-bicarbonate-sulfate, calcium-magnesium-bicarbonate-sulfate, calcium-sodium-magnesium-bicarbonate-sulfate, etc.) to the simpler magnesium-bicarbonate composition of the Kraka massifs. Mineralization ranges from 0.04–0.9 g/dm³, total hardness from 0.2–3.39 mmol/dm³, and pH from 6.8–8.9. The obtained values in the studied water sources do not exceed the maximum permissible concentrations (MPC) for drinking water (SanPiN 1.2.3685–21). Elevated magnesium contents (up to 60–70 mg/dm³), in accordance with GOST R 54316–2020, allow the groundwater in this area to be used as table mineral water.

Keywords: Magnesium-bicarbonate groundwater, ultramafic rocks, Kraka massif, Zilair synclinorium.

Подземные воды гидрокарбонатно-магниевого состава, приуроченные к породам ультраосновного и основного состава, являются крайне редкими для Южного Урала. В то же время они широко распространены по всему миру и тесно связаны с офиолитовыми и интрузивными массивами (Ruskeeniemi et al., 1996; Pacheco, 2004; Dewandel et al., 2005; Begun et al., 2015; Segadelli et al., 2016; Giampouras et al., 2019). Подземные воды этого типа характеризуются заметным преобладанием катионов магния и гидрокарбонат-анионов, и имеют минерализацию, редко превышающую 1 г/дм³. Данные воды могут использоваться в качестве столовых минеральных (ГОСТ Р 54316–2020) для лечения заболеваний, связанных с нехваткой катионов магния в организме. Поэтому целью данной работы является изучение подземных вод гидрокарбонатно-магниевого состава территории Южного Урала для потенциального использования их в хозяйственной деятельности

человека. Объектом для исследований была территория офиолитовых массивов Крака, сложенных ультраосновными и основными породами и имеющих тектонические контакты с вмещающими нижне-, среднепалеозойскими отложениями Зилаирского синклинория. Ввиду сложного геологического строения зоны, представленной магматическими породами офиолитовых массивов, полимиктовым меланжем хаотично перемешанных блоков пород разного возраста и состава, и собственно палеозойскими отложениями среднего ордовика – нижнего карбона (набиуллинская (O_2-S_{1nb}), узьянская (S_{1uz}), серменевская (S_{2sr}), бельская (D_{1-3bl}), зилаирская (D_3-C_{1zl}) свиты; сухолядская (O_{1-3sh}), михалкинская (S_{1-2mh}), хуторская (D_{1-2ht}), ибрагимовская (D_{3ib}) толщи), в 2024 году были отобраны пробы воды из водопунктов территории массивов, так и вмещающих их пород. В работе также были использованы материалы из фондового отчёта Кагармановской партии 1962–1968 гг. (Клочихин и др., 1969ф). Для выявления влияния вмещающих пород на формирование химического состава подземных вод этой территории проведена характеристика образцов ультрамафитов, отобранных сотрудниками Института геологии УФИЦ РАН (г.Уфа) в 1995–2024 гг. в ходе полевых работ на территории массивов Крака.

Офиолитовый массивы Крака представлены четырьмя отдельными телами (Северным, Средним, Южным и Узьянским) с общей площадью более 900 км². Северный Крака, имея изометричную форму и размеры 20×15 км, сложен преимущественно лерцолитами, реже – гарцбургитами и дунитами (Савельев и др., 2008; Савельев, Гатауллин, 2021). Средний Крака, занимающий площадь 180 км², характеризуется наиболее разнообразным геологическим строением: перидотитами и дунитами, составляющими 80% территории; габброидами, на западе массива, и породами верлит-клинопироксенитового комплекса, занимающими промежуточное положение (Сначёв и др., 2001; Савельев и др., 2008). Узьянский Крака (45 км²) на 75% состоит из гарцбургитов, дунит-гарцбургитов и дунитов, и на 20-25% из краевых серпентинитов (Савельев и др., 2008; Савельев и др., 2018). Наиболее крупным из четырех массивов является Южный Крака, площадь которого составляет 450 км². Он представляет собой практически изометричное тело, разделенное на юге на восточную и западную ветви. В строении массива принимают участие шпинелевые перидотиты и дуниты. Западная часть территории сложена породами дунит-гарцбургитового комплекса. В северной и центральной части массива помимо гарцбургитов присутствуют шпинелевые лерцолиты. Спорадические отмечаются плагиоклазы содержащие лерцолиты, характеризующиеся низкой степенью серпентинизации (15 об. %) (Савельев и др., 2024). По периферии всех массивов распространены серпентиниты, где породообразующие минералы либо сохранились в виде реликтов, либо полностью замещены петельчатым серпентином (Савельев и др., 2008).

В виду сложного геологического строения северной части Зилаирского синклинория, было решено разделить проанализированные водопункты на три группы. Первые это подземные воды территории палеозойских отложений Зилаирского синклинория, которые имеют гидрокарбонатно-магниево-кальциевый, реже гидрокарбонатно-магниевый, гидрокарбонатно-кальциево-магниевый, гидрокарбонатно-кальциевый и сложный (гидрокарбонатно-сульфатно-кальциево-натриевый, сульфатно-гидрокарбонатно-магниево-магниевый, сульфатно-гидрокарбонатно-магниево-кальциевый и др) составы с минерализацией 0,04–0,50 г/дм³, общей жёсткостью 0,20–3,1 ммоль/дм³ и pH 6,8–8,8. Ко второй группе относятся воды ручьев и родников зоны полимиктового меланжа с преимущественно гидрокарбонатно-магниевым, гидрокарбонатно-магниево-кальциевым, реже сульфатно-гидрокарбонатно-магниево-натриево-кальциевым, сульфатно-гидрокарбонатно-натриево-кальциевым и пятикомпонентным (сульфатно-гидрокарбонатно-натриево-магниево-кальциевым) составом. Минерализация вод составляет 0,04–0,47 г/дм³, общая жёсткость – 0,45–1,25 ммоль/дм³, pH – 6,8–8,8. К третьей группе относятся подземные воды водопунктов территории массивов Крака, имеющие гидрокарбонатно-магниевый состав. Исключения составляют водоисточники, где среди катионов начинают преобладать кальций, натрий. Минерализация подземных вод достигает значений 0,06–0,9 г/дм³, общая жёсткость – 1,05–3,39 ммоль/дм³, а pH – 7,0–8,9.

Катионы натрия, калия и сульфат-ионы, содержащиеся в подземных водах изученной территории были привнесены атмосферными осадками, которые служат существенным источником растворённых веществ (Абдрахманов, Попов, 2010). Катионы кальция также поступают с атмосферными осадками, реже (для территории Западно-Зилаирской зоны) в результате растворения вмещающих карбонатных пород. Привнос магния объясняется гидролизом породообразующих минералов ультрамафитов массивов (оливина, пироксена), а гидрокарбонат-ион поступает из почв, либо с атмосферными осадками (Абдрахманов, Попов, 2010).

Было проведено также сравнение с некоторыми анализами воды, отобранной исследователями из пород ультрамафитов офиолитовых и интрузивных массивов. Для массивов Крака по сравнению с другими объектами характерен более однородный состав воды с преобладанием катионов магния и гидрокарбонат-анионов. Близкие по химическому составу анализы водопунктов с офиолитового комплекса Семаил (Оман) (Dewandel et al., 2005), Апеннического (Италия) (Segadelli et al., 2016) и Кубинского (Куба) (Pacheco, 2004) офиолитовых поясов, однако они характеризуются значительной вариативностью анионно-катионного состава. Для ультрамафит-мафитовых интрузивных массивов (Suhanko-Konttijarvi, Ylivieska) (Ruskeeniemi et al., 1996) и ассоциации Outokumpu, включающей в себя серпентиниты, тремолит-хлорит-альбитовые породы и черные сланцы, расположенных на территории Финляндии, характерны кальциево-гидрокарбонатный, натриево-хлоридный и смешанный (двух- и трехкомпонентный катионный) составы. Для массива Ронда (Испания) (Giampouras et al., 2019) характерен резко отличающийся от большинства других рассмотренных

офиолитовых массивов высоко щелочной состав вод, который формируется в ходе низкотемпературной серпентинизации, при инфильтрации метеорной магнезиево-гидрокарбонатной воды в водоносные горизонты серпентинитов ниже зоны аэрации (Barnes and O'Neil, 1969; Neal and Stanger, 1985; Bruni et al., 2002; Boschetti and Toscani, 2004; Palandri and Reed, 2004; Kelemen and Matter, 2008; Giampouras et al., 2019). Альтернативная модель образования: гидратация оливина и пироксена пресной водой в закрытой системе с атмосферным CO₂ (Palandri and Reed, 2004). Аналогичные воды встречаются на территории офиолитового комплекса Семаил (Dewandel et al., 2005; Paukert et al., 2012). По химическому составу эти воды натриево-хлоридные. Минерализация для таких вод доходит до 2,9–5,54 г/л, pH среды – до 11,5–12 (Shabutdinov et al., 2025).

Полученные значения минерализации (0,04–0,9 г/дм³), общей жёсткости (0,2–3,39 ммоль/дм³) и pH (6,8–8,9) вод в изученных водоисточниках не превышают предельно допустимых концентраций (ПДК) для питьевых вод (СанПиН 1.2.3685–21). Повышенные значения содержания магния (до 60–70 мг/дм³) соответствуют нормативам ГОСТ Р 54316–2020 и могут использоваться в качестве столовых минеральных вод.

Исследования выполнены по темам FMRS 2025–0016 и 2025–0014

Библиографический список

1. Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г. Геохимия и формирование подземных вод Южного Урала. Уфа: АН РБ, Гилем, 2010. 420 с.
2. Савельев Д.Е., Биembетов А.И., Шабутдинов Т.Д., Самигуллин А.А., Гатауллин Р.А. Минералогическо-геохимические особенности ультрамафитов восточной части массива Южный Крака (Южный Урал) // Георесурсы. 2024. Т. 26. № 4. С. 248–259. doi:10.18599 /grs.2024.4.9
3. Савельев Д.Е., Нугуманова Я.Н., Гатауллин Р.А., Сергеев С.Н. Ультрамафиты массива Узянский Крака (Южный Урал) // Геологический вестник. 2018. № 3. С. 79–97. doi: 10.31084/2619-0087/2018-3-6
4. Савельев Д.Е., Сначёв В.И., Савельева Е.Н., Бажин Е.А. Геология, петрохимия и хромитонность габбро-гипербазитовых массивов Южного Урала. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2008. 320 с.
5. Barnes I., O'Neil J.R. The relationship between fluids in some fresh alpinetype ultramafics and possible modern serpentinization, western United States // Geological Society of America Bulletin. 1969. Vol.80. P. 1947–1960.
6. Begum S., Shah M.T., Muhammad S., Khan S. Role of mafic and ultramafic rocks in drinking water quality and its potential health risk assessment, Northern Pakistan //Journal of Water and Health. 2015. Vol.13. N.4. P.1130–1142. <https://doi.org/10.2166/wh.2015.066>.
7. Boschetti T., Toscani L. Springs and streams of the Taro-Ceno Valleys (Northern Apennine, Italy): reaction path modeling of waters interacting with serpentinized ultramafic rocks // Chemical Geology. 2008. Vol. 257. P.76–91. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2008.08.017>
8. Bruni J., Canepa M., Chiodini G., Cioni R., Cipolli F., Longinelli A., Marini L., Ottonello G., Zuccolini M.V. Irreversible water-rock mass transfer accompanying the generation of the neutral, Mg-HCO₃ and high-pH, Ca-OH spring waters of the Genova province, Italy // Applied Geochemistry. 2002. Vol. 17. P.455–474. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(01\)00113-5](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(01)00113-5)
9. Dewandel B., Lachassagne P., Boudier F., Al-Hattali S., Ladouche B., Pinault J-L., Al-Suleimani Z. A conceptual hydrogeological model of ophiolite hard-rock aquifers in Oman based on a multiscale and a multidisciplinary approach // Hydrogeology Journal. 2005. Vol.13. N 5. P. 708–726. <https://doi.org/10.1007/s10040-005-0449-2>
10. Giampouras M., Garrido C.J., Zwicker J., Vadillo I., Smrzka D., Bach W., Peckmann J., Jimenez P., Benavente J., Garcia-Ruiz J.M. Geochemistry and mineralogy of serpentinization-driven hyperalkaline springs in the Ronda peridotites // Lithos. 2019. Vol 350–351. P. 105215, <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2019.105215>
11. Kelemen P.B., Matter J. In situ carbonation of peridotite for CO₂ storage // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2008. Vol.105. P.17295–17300. <https://doi.org/10.1073/pnas.0805794105>
12. Neal C., Stanger G. Past And Present Serpentinisation of Ultramafic Rocks; An Example from the Semail Ophiolite Nappe of Northern Oman // The Chemistry of Weathering. 1985. Vol 149. P. 249–275 https://doi.org/10.1007/978-94-009-5333-8_15
13. Pacheco R.R. Hydrology of ultramafic rocks in Moa (Cuba) // XXXIII Congress IAH&7 Congress ALHSUD «Groundwater flow understanding from regional and local scales». 2004. P. 1–4.
14. Palandri J.L., Reed M.H. Geochemical models of metasomatism in ultramafic systems: serpentinization, rodingitization, and sea floor carbonate chimney precipitation // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2004. Vol.68. P. 1115–1133. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2003.08.006>
15. Paukert A.N., Matter J.M., Kelemen P.B., Shock E.L., Havig J.R. Reaction path modeling of enhanced in situ CO₂ mineralization for carbon sequestration in the peridotite of the Samail Ophiolite, Sultanate of Oman. Chemical Geology. 2012. Vol.330. P.86–100. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemgeo.2012.08.013>
16. Ruskeeniemi T., Blomqvist R., Lindberg A., Ahonen L., Fräpe S., Posiva O. Hydrogeochemistry of Deep Groundwaters of Mafic and Ultramafic Rocks in Finland. Helsinki, 1996. 123 p.
17. Shabutdinov T.D., Abdrakhmanov R.F., Saveliev D.E., Poleva A.O., Mashkova E.A., Snachev A.V., Gataullin R.A., Durnaeva V.N., Samigullin A.A. Geochemical Features of Ultramafic Rocks and Formation of Magnesium–

Bicarbonate Groundwaters in the Kraka Massif Area (Southern Urals) // *Geosciences*. 2026; Vol.16. N.1. P.8. <https://doi.org/10.3390/geosciences16010008>

18. Segadelli S., Vescovi P., Ogata K., Chelli A., Zanini A., Boschetti T., Petrella E., Toscani L., Gargini A., Celico F. A conceptual hydrogeological model of ophiolitic aquifers (serpentinised peridotite): The test example of Mt. Prinzeria (Northern Italy) // *Hydrological Processes*. 2016. Vol.31. N.5. P.1058–1073. <https://doi.org/10.1002/hyp.11090>

© Шабутдинов Т.Д., Гатауллин Р.А., Сначев А.В., 2026

УДК 551.733(470.52)

Р.Р. Якупов¹, А.В. Рыскулова²

¹канд. г.-м. наук, ИГ УФИЦ РАН, г. Уфа

² студент 4 курса, Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

НОВЫЕ НАХОДКИ КОНОДОНТОВ В СУВАНЯКСКОМ КОМПЛЕКСЕ УРАЛТАУ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Аннотация. Структура Уралтау, представленная суванякским и максютовским метаморфизованными комплексами, большей частью сложена отложениями палеозоя. При дезинтеграции образцов из суванякского комплекса впервые получены и определены палеозойские конодонты. В арвякской свите определены конодонты среднего-верхнего ордовика, в верхней толще курташской свиты – конодонты силурийско-нижнедевонского интервала. Отложения суванякского комплекса формировались на пассивной окраине континента в ордовикско – раннедевонское время и сопоставляются с карамалинской свитой максютовского комплекса, где в линзах мраморов были найдены конодонты аналогичного стратиграфического интервала.

Ключевые слова: конодонты, суванякский комплекс, максютовский комплекс, Уралтау, Южный Урал.

THE NEW DISCOVERY OF CONODONTS IN SUVANYAK COMPLEX OF URALTAU (SOUTHERN URALS)

Аннотация на английском языке. The Uraltau structure, represented by the Suvanyak and Maksyutovo metamorphosed complexes, is largely composed of Paleozoic deposits. Paleozoic conodonts were recovered and identified for the first time during disintegration of samples from the Suvanyak Complex. Middle-Upper Ordovician conodonts were identified in the Arvyak Formation, while Silurian-Lower Devonian conodonts were found in the upper strata of the Kurtash Formation. The deposits of the Suvanyak Complex formed on the passive continental margin during the Ordovician-Early Devonian and are comparable to the Karamaly Formation of the Maksyutovo Complex, where conodonts of a similar stratigraphic interval were found in marble lenses.

Ключевые слова на английском языке. conodonts, Suvanyak complex, Maksyutovo complex, Uraltau, South Urals.

Введение. Хребет Уралтау является главным водоразделом между бассейнами рек западного и восточного склона Южного Урала. Стратиграфия антиформы Уралтау, в которой выделены два метаморфических комплекса – нижний максютовский и, залегающий выше, - суванякский, разработана Д.Г.Ожигановым (1955). Максютовский комплекс с эклогит-глаукофановыми сланцами обнажается в ядерной части структуры Уралтау. Суванякский комплекс слагает западное крыло структуры Уралтау, контактируя с максютовским по Янтышевско-Юлукскому разлому. Возраст нижней серии свит, слагающих суванякский комплекс - уткальской, курташской, тупаргасской, мазаринской, укшук-арвякской, считался протерозойским (Ожиганов, 1955). В стратиграфических схемах Урала (Стратиграфические ... 1993) возраст свит показан среднерифейским-вендским.

Представления о докембрийском возрасте отложений слагающих суванякский и максютовский комплексы Уралтау были пересмотрены благодаря находкам органических остатков палеозойского возраста (Чибрикова, Олли, 1997; Якупов, 2008; Мавринская, Якупов, 2009). Конодонтовая фауна из линз мраморизованных известняков верхней части максютовского высокобарического комплекса в районе д. Юмашево и д. Юлук (Захаров, Аржавитина, 2007) позволила изменить возраст большей части свит слагающих максютовский комплекс и отнести их к палеозою (Князев и др., 2013). Дальнейшее стратиграфо-палеонтологическое изучение разрезов показало наличие большого количества палеозойской органики и в свитах суванякского комплекса, что привело к изменениям в легендах геологических карт Южного Урала (Князев и др., 2008; 2015). (рис. 1)

На современных геологических картах арвякская свита закартирована нижним ордовиком, а курташская свита датирована средним-поздним ордовиком [Князев и др., 2008].

Цель работы - установление возраста арвякской и курташской свит в разрезе суванякского комплекса и корреляция с одновозрастными отложениями в других структурно-фациальных зонах (СФЗ).

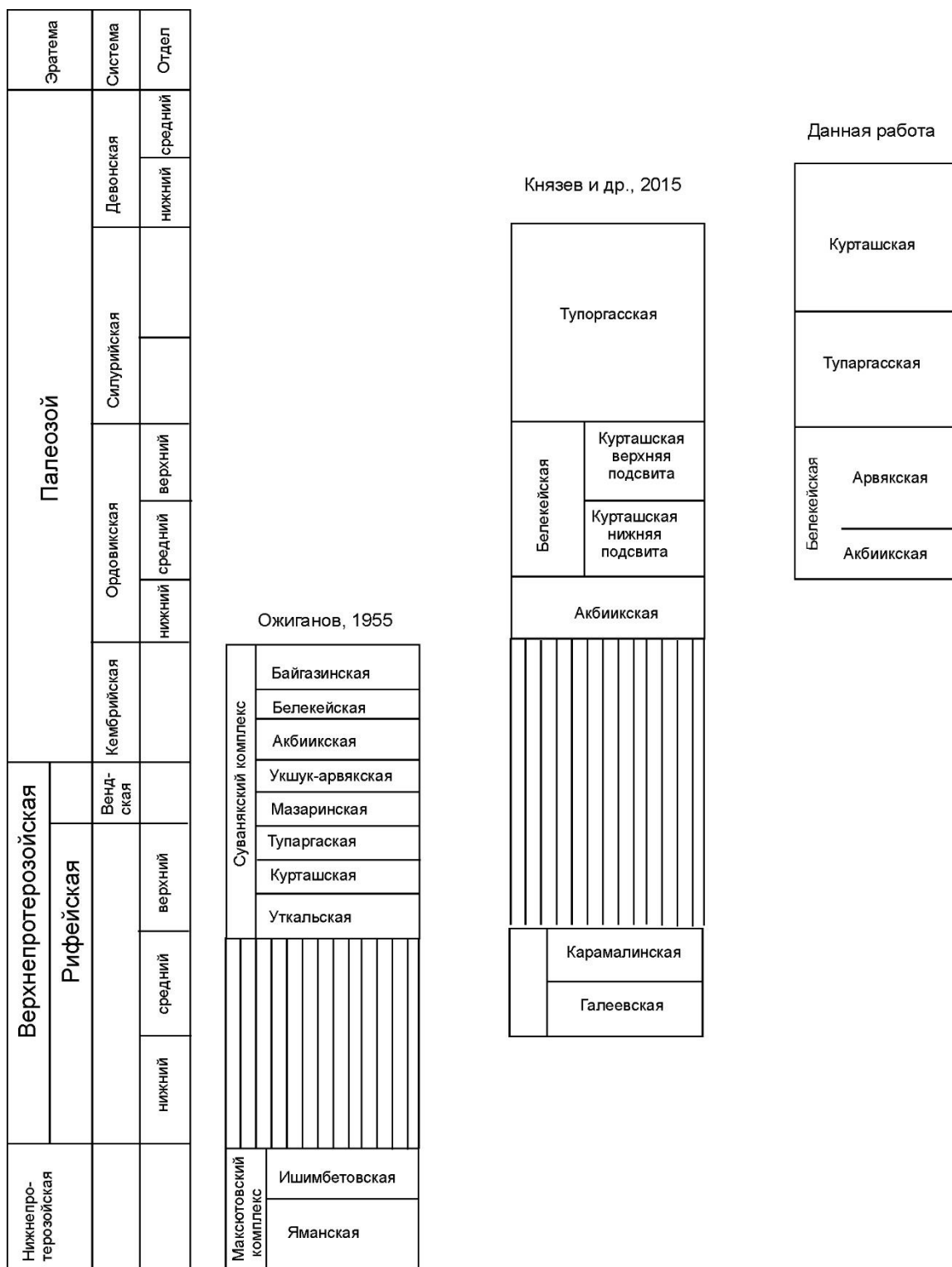


Рис. 1. Стратиграфическая схема свит Уралтау

Методы и методика исследований. В ходе работ по палеонтологическому обоснованию схем стратиграфии Южного Урала в 2008 и 2014 году были отобраны образцы в терригенных породах арвякской свиты в обнажении у дороги Белорецк-Абзаково в междуречье Укшука и Ятвы (Якупов, Рыскулова, 2024) и в мраморизованных известняках верхней подсвиты курташской свиты на р. Башкуриха для выделения органических остатков. Кварцитопесчаники арвякской свиты дезинтегрировались в 10% растворе плавиковой кислоты. Мраморизованные известняки из курташской свиты растворялись в 10% растворе муравьиной

кислоты. Полученный нерастворимый остаток просматривался под бинокулой с отбором конодонтов. Конодонты фотографировались на СЭМ в ИГ УФИЦ РАН.

Конодонты хранятся в коллекции № 181 лаборатории стратиграфии палеозоя ИГ УФИЦ РАН.

Обсуждение результатов. Первая находка конодонтов сделана в северной части структуры Уралтау. Из кварцевых конгломератов и серых кварцевых среднезернистых песчаников арвякской свиты определены конодонты: *Periodon* aff. *aculeatus* Hadding, *Staufferella?* sp. и два конических элемента (рис. 2). В нерастворимом остатке вместе с конодонтами обнаружен палеозойский сколекодонт. На основании находки среднеордовикского конодонтового S-элемента *Periodon* aff. *aculeatus* Hadding арвякская свита суваянского комплекса датирована средним ордовиком (Якупов, Рыскулова, 2024).

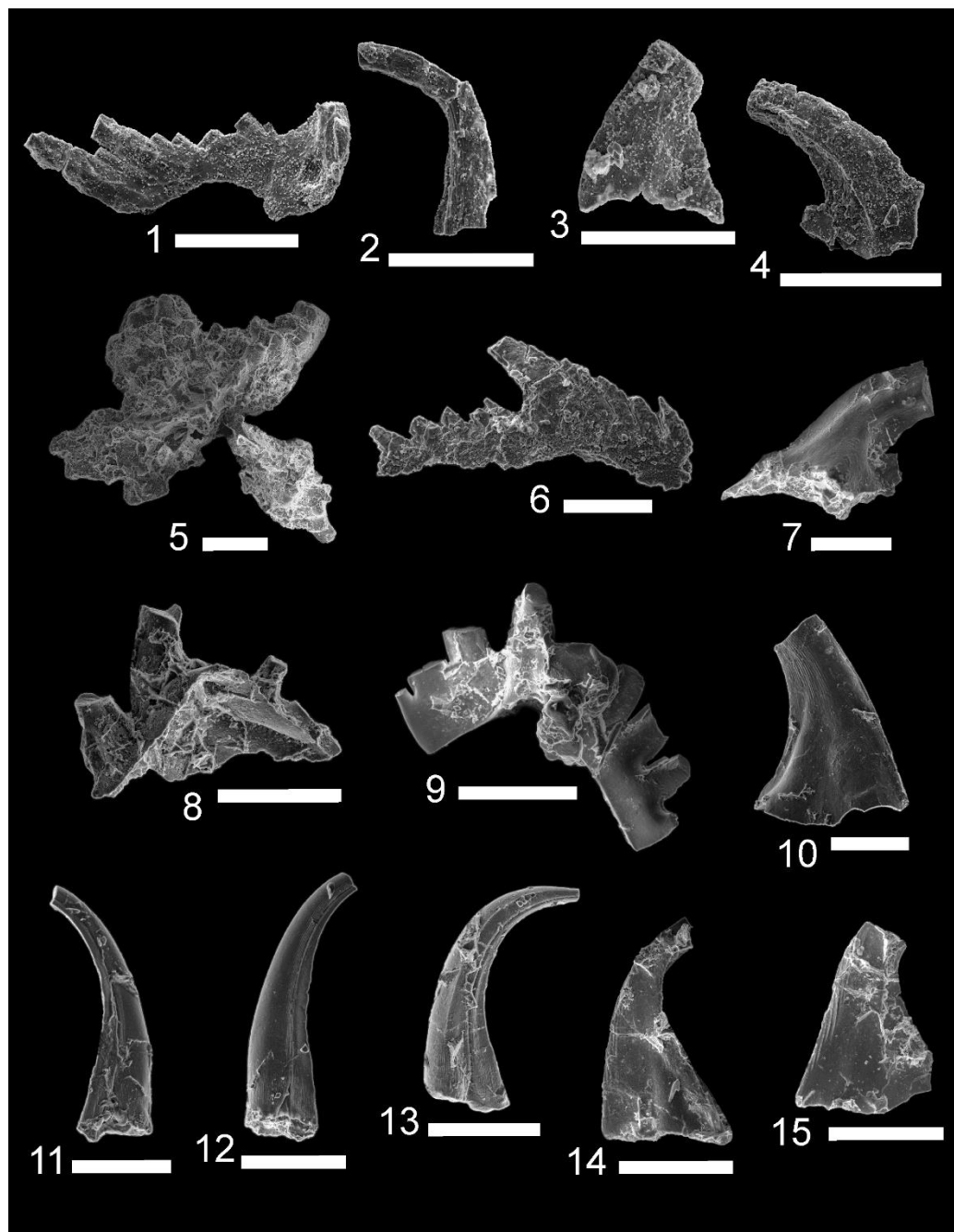


Рис. 2. Конодонты из суваянского комплекса Уралтау
Масштабная линия 200 мкм

- 1 – *Periodon* aff. *aculeatus* Hadding. S элемент, вид сбоку. Арвякская свита. р. Укшук.
- 2 – *Staufferella?* sp. Элемент не установлен. Арвякская свита. р. Укшук.
- 3 – обломок конического конодонта. Элемент не установлен. Арвякская свита. р. Укшук.
- 4 – *Protopanderodus* sp.? Элемент не установлен. Арвякская свита. р. Укшук.
- 5 – gen. and sp. indet. Pa элемент, вид сверху. Верхняя подсвита курташской свиты. р. Башкуриха.
- 6 – gen. and sp. indet. Pb элемент, вид сбоку. Верхняя подсвита курташской свиты. р. Башкуриха.

- 7 – *Distomodus?* sp. М элемент, вид сбоку. Верхняя подсвита курташской свиты. р. Башкуриха.
 8, 9 – *Oulodus* sp. 8 – Р элемент, вид сзади, 9 – Sb элемент, вид сзади. Верхняя подсвита курташской свиты. р. Башкуриха.
 10 – *Walliserodus curvatus* (Branson et Branson). Р элемент, вид сбоку. Верхняя подсвита курташской свиты. р. Башкуриха.
 11-13 – *Panderodus* cf. *unicostatus* (Branson et Mehl). 11, 12 – S элементы, вид сбоку; 13 – М элемент, вид сбоку. Верхняя подсвита курташской свиты. р. Башкуриха.
 14, 15 – *Dapsilodus* cf. *D. obliquicostatus* (Branson et Mehl). S элементы, вид сбоку. Верхняя подсвита курташской свиты. р. Башкуриха.

Вышележащие отложения белекейской свиты охарактеризованы в стратотипической местности ордовикскими хитинозойми (Якупов, 2008). В стратотипе тупаргасской свиты собраны силурийские граптолиты, конодонты и хитинозои (Якупов, 2008).

В суванякском комплексе Уралтау известняки мраморизованные встречаются среди хлорит-мусковит-кварцевых и углисто-слюдисто-кварцевых сланцев и кварцитов верхней подсвиты курташской свиты. Впервые получены и определены конодонты из мраморизованных известняков в 500 м выше устья р. Башкуриха в урочище Куркатовская плотина по дороге Новоусманово - Кананикольский.

Конодонты из мраморизованных известняков верхней подсвиты курташской свиты представлена таксонами: *Panderodus* cf. *unicostatus* (Branson et Mehl), *Dapsilodus* sp., ?*Distomodus* sp., *Oulodus* sp., *Walliserodus* sp. (рис. 2). Комплекс конодонтов характерен для силура, интервал распространения видов может захватывать низы девона, поэтому возраст комплекса принимается в объеме силур - нижний девон, датируя вмещающие отложения.

Выводы. Отложения арвякской свиты в северной части структуры Уралтау по возрасту конодонтового комплекса относятся к среднему-верхнему ордовику.

Конодонты, впервые выделенные из мраморизованных известняков верхней подсвиты курташской свиты распространены в силуре-раннем девоне. Возраст известняков и вмещающих отложений принимается в объеме S-D₁.

В актуализированной стратиграфической схеме Южного Урала необходимо использовать новые данные о возрасте свит на основе определений конодонтов. Возраст арвякской свиты установить средний-верхний ордовик, верхнюю подсвиту курташской свиты отнести к силуре-нижнему девону.

Терригенные отложения суванякского комплекса, включающие известняки с палеозойской фауной, могут сопоставляться с аналогичными отложениями карамалинской и кайраклинской свит максютовского комплекса, где в линзах мраморизованных известняков встречены сопоставимые по возрасту конодонты. Формирование мощной толщи палеозойских терригенных отложений относимых к суванякскому комплексу Уралтау началось в среднем ордовике (арвякская, акбийская и белекейская свиты), продолжилось в силуре (тупаргасская свита) и продлилось до раннего девона (верхняя подсвита курташской свиты) в условиях пассивной континентальной окраины.

Список литературы

1. Захаров О.А., Аржавитина М.Ю. Геология и геохимия максютовского комплекса зоны Уралтау Уфа: Гилем, 2007. 92 с.
2. Князев Ю.Г., Князева О.Ю., Каримов Т.Р. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 200 000. Издание второе. Серия Южно-Уральская. Лист N-40-XXVIII. Объяснительная записка. М.: МФ ВСЕГЕИ. 2008. 251 с.
3. Князев Ю.Г., Князева О.Ю., Каримов Т.Р. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 200 000. Издание второе. Серия Южно-Уральская. Лист N-40-XXIII (Белорецк). Объяснительная записка. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ. 2015. 237 с.
4. Князев Ю.Г., Князева О.Ю., Сначев В.И., Жданов А.В. Каримов Т.Р., Айдаров Э.М., Масагутов Р.Х., Арсланова Э.Р. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист N-40 (Уфа). Объяснительная записка. – СПб. Картографическая фабрика ВСЕГЕИ. 2013. 512 с.
5. Мавринская Т.М., Якупов Р.Р. О возрасте суванякского комплекса зоны Уралтау // Геологический сборник №8 / ИГ УНЦ РАН. Уфа. 2009. С. 15–16.
6. Ожиганов Д.Г. Геологическое строение метаморфического пояса хребта Урал-Тау Южного Урала. Ученые записки Башкирского государственного педагогического института. Вып. 4. 1955. 53
7. Стратиграфические схемы Урала (Докембрий, палеозой) / Межведомственный Стратиграфический Комитет России. Екатеринбург. 151 лист. Объяснительная записка. 1993. 139 с.
8. Чибрикова Е.В., Олли В.А. Первые находки акритарх в метаморфическом комплексе хребта Урал-Тау (Южный Урал) // Известия отделения наук о Земле и экологии АН РБ. Уфа. № 1. 1997. С. 42–48.

СЕКЦИЯ 2. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ И ГИДРОГЕОЛОГИИ

УДК 501.55

Г.А. Галимова,
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа
Научный руководитель: **Г.Ф. Хасанова,**
к. г. н., доцент кафедры геологии,
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ЮГОМАСHEВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕФТИ

Аннотация. В работе представлены результаты комплексных инженерно-геологических изысканий на Югомашевском нефтяном месторождении. Дана характеристика основных геологических процессов, включая карстовые проявления, подтопление и морозное пучение. Установлены факторы активизации этих процессов в условиях техногенной нагрузки. Определены критерии оценки устойчивости геологической среды, необходимые для обеспечения надежности эксплуатации нефтепромысловых объектов.

Ключевые слова. Инженерная геология, экзогенные процессы, нефтяное месторождение.

ENGINEERING AND GEOLOGICAL PROCESSES OF THE YUGOMASHEVSKY OIL FIELD

Annotation. The paper presents the results of comprehensive engineering and geological surveys at the Yugomashevskoye oil field. It provides a description of the main geological processes, including karst manifestations, flooding, and frost heaving. The paper identifies the factors that contribute to the activation of these processes under anthropogenic stress. The paper also defines the criteria for assessing the stability of the geological environment, which are necessary for ensuring the reliable operation of oil field facilities.

Keywords. Engineering geology, exogenous processes, oil field.

Югомашевское месторождение расположено на территории Янаульского и Татышлинского районов Республики Башкортостан.

Месторождение приурочено к краевой северной части Башкирского свода. Нефтеносные отложения каширского, верейского горизонтов, башкирского яруса среднего карбона, турнейского яруса нижнего карбона, фяменского яруса, кыновского, пашийского, муллинского горизонтов верхнего и среднего девона.

В связи с разработкой данного нефтяного месторождения, участок изысканий техногенно освоен. Отмечаются траншеи под прокладку трубопроводов, кабелей связи, опоры подводящих ВЛ, технологические проезды с грунтовым и твердым покрытием.

Геологическая обстановка на площади изысканий очень стабильная. Для нее характерны отсутствие проявлений тектоники (разломов, опусканий, поднятий и т.п.). Слагающие территорию породы являются стандартными для Урало-Поволжского региона России и никакого отрицательного воздействия на строительство сооружений не оказывают.

Экзогенные процессы на проектируемой площадке представлены потенциальным подтоплением, потенциальными карстовыми проявлениями и потенциальным морозным пучением.

Процессы подтопления. В соответствии с СП 11-105-97 часть II, территория на участке изысканий отнесена к району: потенциально подтопляемые в результате экстремальных природных ситуаций (в многоводные годы, при катастрофических паводках), п. П-А2 – периодическое быстрое повышение уровня. Категория опасности по процессам подтопления оценивается как умеренно опасная. [4]

С учетом геоморфологических особенностей рельефа (балки, впадины) и наличия в разрезе слабопроницаемых грунтов, возможно образование в зоне аэрации верховодки в водообильные периоды года.

Формирование временного горизонта подземных вод типа «верховодка» имеет сезонно-временной характер (апрель-май). Горизонт образуется за счет обильного снеготаяния и низкой инфильтрацией грунтов

(суглинки). Верховодка характеризуется невыдержанным по глубине уровнем формирования, колебание которого напрямую связано с водообильностью периода года.

Уровень подземных вод типа «верховодки», в засушливое время года, в результате испарения и просачивания в нижележащие слои, может понижаться, вплоть до полного исчезновения.

Возможно образование техногенного водоносного горизонта вследствие накопления воды в обратных насыпках, котлованов и траншей во время строительства; инфильтрация поверхностных вод вследствие нарушения поверхностного стока, задержанного земляными отвалами, проездами, насыпями; инфильтрация утечек из водонесущих коммуникаций, сооружений с «мокрым» технологическим процессом, также на контакте сооружение-грунт.

Карстовые проявления. Согласно Приложению В, СП 116.13330.2012 на территории Республики Башкортостан зарегистрированы поверхностные проявления карстовых процессов. [5]

На участке изысканий и на близлежащей территории, поверхностных форм проявления карста не наблюдается. Класс карста, согласно приложению 2.1 ТСН 302-50-95 РБ, СП 116.13330.2012 соответствует I-Б. [5,8]

При определении категории карстовой устойчивости послужили следующие критерии:

1. Удаленность от ближайшего карстопроявления > 250 м (по данным рекогносцировочного обследования и дешифрирования космо-аэрофотоснимков);
2. Интенсивность провалообразования территории, по данным изучения космо- и аэрофотоснимков до 0,01 случая в год на км²;
3. Карстовые полости, зоны разуплотнения и тектонических нарушений, по данным бурения, архивных материалов и по опросу обслуживающего персонала на X месторождении отсутствуют;
4. Отсутствие карстующихся пород на участке работ на глубину изучения разреза (до 10,0 м).
5. По опросу эксплуатирующих служб карстопроявления отсутствуют. За период эксплуатации с 1966 года (55 лет) существующих сооружений, наличие карстовых провалов не зафиксировано.

Анализируя вышеизложенное, участок изысканий согласно табл. 5.1 СП 11-105-97 Часть II отнесен к VI категории устойчивости. [4]

Морозное пучение. В отдельные годы при выпадении обильных осадков в весенние периоды будет наблюдаться увлажнение верхней толщ грунтов и изменение величины степени пучинистости возможно до слабопучинистой. Для инженерной защиты от морозного пучения в соответствии с главой 12, СП 116.13330.2012 рекомендуются противопучинистые мероприятия. [5]

По степени морозной пучинистости, согласно лабораторным данным и таблице Б.24 ГОСТ 25100-2020, грунты имеют показатели, приведённые в табл. 1. [1]

Таблица 1

Степень морозной пучинистости

Номер ИГЭ	Степень морозной пучинистости (ϵ_{fn}), %	Разновидность грунтов
ИГЭ-04	1,08	Непучинистый

Прогноз развития процессов во времени и в пространстве в сфере взаимодействия проектируемого объекта с геологической средой. Во время строительства и эксплуатации в результате нарушения условий естественного залегания грунтов возможно прогрессирующее развитие всех встреченных опасных геологических процессов на исследуемой территории.

Рекомендации по использованию территории. При проектировании сооружений на исследуемой территории следует предусмотреть водозащитные мероприятия и мероприятия от морозного пучения грунтов особенностей.

В связи со строительством и эксплуатацией объектов неизбежны изменения состава, состояния и свойств грунтов, связанных с формированием перемещенных грунтов, грунтов обратной засыпки, неравномерным уплотнением грунтов под площадными сооружениями и насыпями линейных сооружений. Также возможны изменения режима подземных вод: повышение их уровня под площадными сооружениями, вдоль дорог и в полосах трасс трубопроводов, вследствие этого вероятно ухудшение физико-механических свойств грунтов. Возможно образование техногенного водоносного горизонта вследствие накопления воды в обратных насыпках, котлованов и траншей во время строительства; инфильтрация поверхностных вод вследствие нарушения поверхностного стока, задержанного земляными отвалами, проездами, насыпями; инфильтрация утечек из водонесущих коммуникаций, сооружений с «мокрым» технологическим процессом, также на контакте сооружение-грунт.

Согласно приложению Г СП 47.13330.2016, участок работ, по инженерно-геологическим условиям, относится ко II категории сложности. [6]

Библиографический список

1. ГОСТ 25100-2020. «Межгосударственный стандарт. Грунты. Классификация».
2. «Геология СССР. Том XI (Поволжье и Прикамье)». Под ред. А.В. Сидоренко. М.: Недра. 1967.
3. Инженерная геология СССР. т.1. Русская платформа. Под ред. Е.Г. Чаповского. М., Изд-во Московского университета, 1977 – 496с.
4. СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов».
5. СП 116.13330.2012. «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения».
6. СП 47.13330.2016. «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. М. 2012».
7. «Справочник техника-геолога по инженерно-геологическим и гидрогеологическим работам». М., «Недра», 1982 г. Авторы: М.А. Солодухин, И.В. Архангельский.
8. ТСН 302-50-95 РБ: [Введ. в действие 02.04.96: Взамен ВСН 2-86 / Госстрой БАССР и РСН 1-91 / Госстрой БССР]. – Изд. офиц. – Уфа: Госстрой Респ. Башкортостан, 1996. – 39, с.: ил.: 28 см.

© Галимова Г.А., Хасанова Г.Ф., 2026

УДК 551.34, 624.13

К.С. Милушкин

Аспирант,

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

А.В. Милушкина

Аспирант,

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

Научный руководитель: **С.К. Мустафин**

д-р. геол.-мин. наук, профессор, Уфимский университет науки и технологий, академик РАЕН, г. Уфа

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ТЕРРИТОРИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ОСВОЕНИЯ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ПОЛУОСТРОВА ЯМАЛ

Аннотация. Анализируются результаты выполнения комплексных инженерных изысканий в объеме, необходимом и достаточном для разработки проектной документации для строительства в соответствии с действующими нормативными документами.

Ключевые слова. Ямал, криолитозона, многолеинемёрзлый грунт, литотип, инженерно-геологический элемент.

ENGINEERING AND GEOLOGICAL RESEARCH OF THE TERRITORY OF INDUSTRIAL DEVELOPMENT IN THE NORTH-EASTERN PART OF THE YAMAL PENINSULA

Abstract. The article analyzes the results of comprehensive engineering surveys to the extent necessary and sufficient for the development of design documentation for construction in accordance with current regulatory documents.

Keywords. Yamal, permafrost zone, permafrost soil, lithotype, engineering-geological element.

Полуостров Ямал расположен на севере Западной Сибири омывается водами Карского моря и Обской губы. Размеры полуострова Ямал значительны: длина – около 700 км, ширина – до 240 км, площадь – около 122 тыс. км².

Ямальская нефтегазоносная область (НГО) Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (ЗСНГП) расположена в пределах полуострова Ямал и прилегающей акватории Карского моря. Здесь сосредоточено порядка 43% всех запасов газа, 41% запасов газового конденсата и 1,3% запасов нефти среди разрабатываемых и разведанных месторождений ЗСНГП [Пустовой Д.А., Хафизов С.Ф., Количественная оценка ресурсного потенциала Ямальской нефтегазоносной области с применением модели распределения Парето // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2025. - Т.20. - № 3. – С. 1-20].



Рис. 1. Схема размещения месторождений Ямальской НГО на полуострова Ямал и прилегающей акватории Карского моря

Техногенные факторы трансформации криолитозоны полуострова Ямал обусловлены масштабной, динамично развивающейся, производственной деятельностью комплекса по добыче, подготовке, сжижению газа, отгрузке сжиженного природного газа (СПГ) и газового конденсата.

Участок изысканий характеризуется суровым арктическим климатом и относится к I району 1Г подрайону климатического районирования для строительства. Производственные объекты проектирования относятся к нормальному и повышенному уровню ответственности.

Район расположен на крайнем севере Западно-Сибирской равнины в подзоне арктической тундры в границах морской бореальной трансгрессии. Многолетняя мерзлота распространена повсеместно.

Среднегодовая температура воздуха составляет минус 10,0 °С. Самый холодный месяц – февраль со средней месячной температурой минус 25,3°С. Средний и абсолютный минимумы также наблюдаются в феврале и составляют, соответственно, минус 29,6°С и минус 49,4 °С.

Абсолютный минимум температуры поверхности почвы минус 56 °С наблюдался в феврале.

Продолжительность периода со снежным покровом за период с 1966 по 2018 г. составляет 231 день. Наибольшая средняя высота снежного покрова за зиму 0,44 м. Минимальная плотность снежного покрова в ноябре 0,2 г/см³.

Северо-восточная часть полуострова Ямал характеризуется абсолютными отметками от -3,54 до 23,09 м, имеет равнинный рельеф с небольшими возвышенностями и впадинами; уклон на восток в сторону Обской губы. Участок изысканий расположен в пределах 1 и 2 лагунно-морских террас, сложенных позднечетвертичными отложениями (ImQIII-IV): песками, супесями, суглинками и глинами, современными биогенными отложениями (bQIV) (торфами), техногенными отложениями (tQIV) (насыпными грунтами разнозернистыми песками).

По гидрологическим условиям район изысканий относится к IV району – тундре. Реки имеют небольшие размеры, снеговое и дождевое питание, незначительный уклон не более 2 ‰. Густота речной сети составляет 0,3–0,4 км/км², врезы речных долин и оврагов от 20 до 40 м.

Комплекс выполненных инженерно-геологических изысканий включал: рекогносцировочные маршруты – 72 км, колонковое бурение 795 скважин общим объёмом 12167,2 погонных метров (п. м.), отбор 1986 монолитов и 2241 пробы нарушенной структуры, скважинное наблюдение за температурой пород 507 точек. Вертикальное электрическое зондирование 234 физических наблюдений; 45 измерений блуждающих токов.

В аттестованной грунтовой лаборатории ООО «Центр Геокриологии МГУ» (г. Новый Уренгой) проведён полный комплекс исследования физических свойств мерзлых (1464 определения) и (45 определений) талых песчаных грунтов; для глинистых грунтов соответственно 477 и 6.

Гранулометрический анализ песчаных грунтов составил 1928 определений, выполнены 37 различных видов анализов состава и свойств мёрзлых и талых грунтов и подземных вод.

Проведённые комплексные исследования многолетнемёрзлых грунтов (ММГ) объекта изысканий позволили выделить инженерно-геологические элементы (ИГЭ) верхней части разреза криолитозоны, оценить положение кровли и подошвы и вскрытую мощность (табл. 1), на рисунке 2 показаны примеры литотипов.

В составе 23 выделенных ИГЭ: лёд – 1; торф – 1; насыпной грунт – песок – 1; глины – 2; супеси – 4; пески мелкие – 6; пески пылеватые – 5; суглинки – 3.

По данным термокаротажа среднегодовые температуры ММГ на глубине 10,0 м от поверхности (по всему объекту) изменяются от плюс 0,2 до минус 5,1 °С. Нормативное значение среднегодовой температуры ММГ То,п (по всему объекту) на глубине 10,0 м составляет минус 3,4 °С. (рис. 3)

Согласно инженерно-геологическому районированию объект изысканий входит в состав Восточно-Ямальной геокриологической области, в пределах которой развит комплекс позднечетвертичных и голоценовых террас, главным образом лагунно-морского (губского) генезиса. Преобладают мелкие и пылеватые пески, замещающиеся супесями и суглинками, реже глинами.

В геологическом строении участка изысканий участвуют позднечетвертичные лагунно-морские (ImQIII-IV) отложения, представленные переслаиванием ММГ – песков, суглинков, супесей и глин. Мёрзлые грунты классифицированы как слабозасоленные и средnezасоленные в соотношении 35,3% к 64,7%. Засоленность песков в пределах 0,1097-0,2063 ‰, глинистых грунтов в пределах 0,2552-0,5231‰. Коррозионная агрессивности ММГ к углеродистой – низкая, блуждающие токи отсутствуют.

В таблице 2 представлены результаты лабораторных определений ряда важных параметров, характеризующих физические свойства ИГЭ ММГ криолитозоны в мёрзлом и талом состояниях.

Категория сложности инженерно-геокриологических условий объекта оценивается как – II (средней сложности). Криогенное строение грунтов во многом определяется их литологическим составом и влажностью. Криогенное строение глинистых грунтов слоисто-сетчатое. Льдистость изменяется от нельдистых до льдистых (Ii изменяется в пределах от 0,02 д.е. до 0,25 д.е.). Пески массивной криотекстуры. Льдистость изменяется от слабольдистых до льдистых (Itot изменяется в пределах от 0,34 д.е. до 0,44 д.е.). Торфы атакситовой криотекстуры, сильнольдистые.

Для вод надмерзлотных и внутримерзлотных вод оценена агрессивность к бетонам и стали.

Мёрзлые грунты классифицированы как слабозасоленные и средnezасоленные в соотношении 35,3% к 64,7%. Степень засоленности для песков изменяется в пределах 0,1097- 0,2063 ‰, для глинистых грунтов в пределах 0,2552-0,5231‰. Из опасных геологических процессов и неблагоприятных инженерно-геологических явлений на территории изысканий возможно проявление: подтопления территории, заболачивания, морозные пучения грунтов в зоне сезонного промерзания-оттаивания.



А. Выкладка керна ММГ Массивные – монолиты, рыхлый – материал с нарушенной структурой



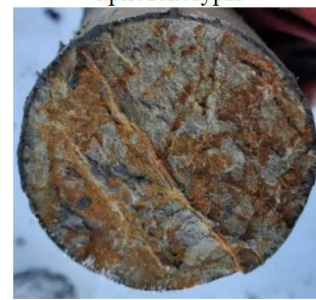
Б. Суглинок песчаный, слабо льдистый (3-20%), при оттаивании текучий



В. Суглинок льдистый (20-40%), слоисто-сетчатой криотекстуры



Г. ИГЭ 3101. Супесь мерзлая, слабольдистая, слабозасоленная, при оттаивании текучая



Д. ИГЭ-4512. Песок пылеватый, мерзлый, средnezасоленный, ожелезнённый, плотный

Рис. 2. А – материал ММГ в выкладке керна (монолиты и пробы с нарушенной структурой); Б, В, Г, Д – вид и краткая характеристика разнообразных литотипов ИГЭ ММГ криолитозоны



А

Глубина, м	Зам.1 (9.11.23)	Зам.2 (10.11.23)	ИГЭ
0	-18,21	-15,55	1
0,5	-3,87	-3,86	
1	-1,02	-1,01	
1,5	-0,89	-0,88	2
2	-0,64	-0,65	
2,5	-0,41	-0,42	
3	-0,66	-0,67	
3,5	-0,69	-0,7	5
4	-0,9	-0,89	
4,5	-1,1	-1,09	
5	-1,27	-1,26	
6	-1,33	-1,34	
7	-1,4	-1,41	
8	-1,55	-1,54	
9	-1,91	-1,92	
10	-2,15	-2,16	

Б

Рис. 3. А. Термометрия ММГ по скважине осуществляется с помощью комплекса, состоящего из контроллера ТКС61 и термокосы ТК 1,5/20/21 (в скважине на участке западный Гыдан); Б – пример оформления результатов 2 замеров термометрии с привязкой к глубинам по скважине и конкретным ИГЭ разреза ММГ криолитозоны

Процесс подтопления территории относится к весьма опасному, как проявленному на всей территории изысканий (площадная пораженность – 75%). По категории опасности процесс заболачивания, участок изыскания, относится к умеренно опасным.

По категории опасности процесс морозного пучения относится к весьма опасным, пораженность территории более 75%. Все без исключения

ИГЭ ММГ объекта в различной степени пучинистые (сильнопучинистых грунтов 53%, среднепучинистых – 47%).

По результатам исследований составлены карта инженерно-геологических условий и карта геокриологического районирования площади проведённых изысканий. По совокупности факторов площадь изысканий отнесена к сложной (II) категории инженерно-геокриологических условий.

Таблица 1

Показатели физических свойств мерзлых и талых грунтов объекта изыскания Ямал [3]

Номер ИГЭ	Влажность естественная суммарная W tot, (д.е)	Плотность частиц грунта Ps (г/см ³)	Коэффициент пористости e (д.е.)	Коэффициент водонасыщения	Льдистость суммарная Itot, (д.е.)	Засоленность Dsol, %	Удельное электрическое сопротивление Ом*м	Температура начала замерзания, Тнз, °С.
Талые грунты								
31	0,284	2,68	0,860	0,88	-	0,3006	-	-
441	0,182	2,63	0,647	0,74	-	0,1229	70,09	-20
442	0,237	2,64	0,650	0,89	-	0,1815	68,40	-24
452	0,229	2,63	0,704	0,87	-	0,1700	71,55	-27
Мерзлые грунты								
ИГЭ 81	8,942	1,10	10,417	0,94	0,937	0,0082		
ИГЭ 91	6,046	1,64	10,633	0,92	0,70	0,0112	104,82	-0,30
ИГЭ 708	0,218	2,638	0,648	0,89	0,38	0,1097	68,90	-0,55
ИГЭ 1002	0,320	2,74	1,011	0,86	0,15	0,4907	17,30	-0,787
ИГЭ 1102	0,318	2,74	1,002	0,87	0,20	0,4858	17,35	-0,80
ИГЭ 2002	0,277	2,71	0,818	0,87	0,21	0,4725	15,12	-0,69
ИГЭ 2102	0,292	2,71	0,918	0,87	0,27	0,4931	20,89	-0,71
ИГЭ 2201	0,507	2,71	1,519	0,90	0,394	0,311	18,265	-0,68
ИГЭ 3002	0,294	2,68	0,888	0,88	0,29	0,4064	17,71	-0,50
ИГЭ 3101	0,361	2,68	1,067	0,88	0,33	0,2552	14,23	-0,49
ИГЭ 3102	0,336	2,68	1,019	0,884	0,33	0,4461	19,00	-0,51
ИГЭ 3202	0,377	2,68	1,108	0,89	0,40	0,4764	15,70	-0,52
ИГЭ 4411	0,206	2,64	0,597	0,90	0,35	0,1219	69,38	-0,30
ИГЭ 4412	0,194	2,64	0,565	0,90	0,34	0,2056	69,39	-0,29
ИГЭ 4421	0,271	2,64	0,799	0,90	0,43	0,1296	69,77	-0,29
ИГЭ 4422	0,280	2,64	0,838	0,90	0,44	0,1969	70,90	-0,33
ИГЭ 4511	0,204	2,64	0,614	0,90	0,36	0,1242	69,85	-0,47
ИГЭ 4512	0,191	2,64	0,555	0,91	0,34	0,2058	68,33	-0,43
ИГЭ 4521	0,274	2,64	0,818	0,90	0,43	0,1165	67,74	-0,45
ИГЭ 4522	0,283	2,64	0,857	0,90	0,44	0,2063	68,39	-0,45

Мониторинг вечной мерзлоты – часть экологического мониторинга (мониторинга окружающей среды), который представляет собой комплексные наблюдения за состоянием окружающей среды, в том числе компонентов природной среды, естественных экологических систем, за происходящими в них процессами, явлениями, а также оценку и прогноз изменений состояния окружающей среды [2].

Динамика мерзлотных условий включает в себя такие риски, как: снижение несущей способности мерзлых оснований и разрушение объектов инфраструктуры; активизацию опасных экзогенных геологических, криогенных, гидрологических и других природных процессов; сокращение ареалов обитания и численности популяций животного и растительного мира, изменение путей миграции и видового разнообразия животных; возрастание частоты и площади природных пожаров и гарей; деградацию и снижение продуктивности оленьих пастбищ; делихенизацию тундровых экосистем; медико-биологические риски, ухудшение санитарно-эпидемиологической обстановки и рост заболеваемости населения; увеличение эмиссии углерода из природных источников [1].

Предлагается использовать результаты изысканий для создания и развития базы данных регионального мониторинга состояния устойчивости криолитозоны Ямала и инженерно-геокриологического районирования территории полуострова для его безопасного промышленного освоения.

Библиографический список

1. Брушков А.В. Актуальные проблемы мониторинга вечной мерзлоты. Журнал Фундаменты. № 4, 2024. Москва: Издательство Международная ассоциация фундаментостроителей IAFC., 2024. – С.24-28.
2. Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 376 с.
3. Мустафин С.К., Милушкин К.С., Милушкина А.В. Инженерно-геологические аспекты исследования криолитозоны территории промышленного освоения полуострова Ямал. Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: материалы XV Международной научно-практической конференции, 31 марта – 3 апреля 2025 г., г. Якутск [Электронный ресурс]– Якутск: Издательский дом СВФУ, 2025. – С. 563-568.
4. Пустовой Д.А., Хафизов С.Ф., Количественная оценка ресурсного потенциала Ямальской нефтегазоносной области с применением модели распределения Парето // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2025. - Т.20. - № 3. – С. 1-20.

© Милушкин К.С., Милушкина А.В., Мустафин С.К., 2026

УДК 502.521: 550.422

К.С. Милушкин

Аспирант,

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

А.В. Милушкина

Аспирант,

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

Научный руководитель: **С.К. Мустафин**

д-р. геол.-мин. наук, профессор, Уфимский университет науки и технологий, академик РАЕН г. Уфа

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ТЕРРИТОРИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ОСВОЕНИЯ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ГЫДАНСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Аннотация. Инженерно-геологические условия территории проведённых изысканий Гыданского полуострова оценены как сложные. Специфические грунты и опасные инженерно-геологические процессы широко распространены. Изменений инженерно-геологических и геокриологических условий криолитозоны не произойдет при сохранении естественных условий грунтов и проведении комплекса необходимых мероприятий

Ключевые слова. Гыдан, криолитозона, многолетнемёрзлый грунт, литотип, инженерно-геологический элемент

ENGINEERING AND GEOLOGICAL RESEARCH OF THE TERRITORY OF INDUSTRIAL DEVELOPMENT IN THE NORTH-EASTERN PART OF THE YAMAL PENINSULA

Abstract. The engineering and geological conditions of the Gydan Peninsula are assessed as complex. Specific soils and hazardous engineering and geological processes are widespread. Changes in the engineering and geological

conditions of the permafrost zone will not occur if the natural conditions of the soils are preserved and the necessary measures are taken.

Keywords. Gydan, permafrost zone, permafrost soil, lithotype, engineering and geological element.



Рис. 1. Схема размещения месторождений Гыданской НГО на Гыданском полуострова

Гыданский полуостров расположен на севере Западно-Сибирской равнины, вдаётся в Карское море между Тазовской и Обской губами на западе и Енисейским заливом на востоке (рис.1). Площадь полуострова порядка 160 тыс. км² при длине и ширине около 400 км. В недрах 16 месторождений НГО заключено 2 234 млрд м³ газа.

Гыданская нефтегазоносная область (НГО) является самой северной, труднодоступной и по этой причине пока наименее изученной территорией Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (ЗСНГП)

Территория изысканий расположена в западной части Гыданского полуострова, который в инженерно-геологическом аспекте пока ещё относится к слабо исследованным регионам арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ). Целью проведённых инженерно-геологических изысканий является получение материалов, качество и полнота которых достаточны для разработки проектной документации для промышленного строительства. Территория изысканий относится к климатическому подрайону ПГ. Многолетнемёрзлые грунты (ММГ) в составе криолитозоны полуострова распространены повсеместно. Средняя годовая температура воздуха составляет минус 9.9 °С; абсолютный минимум минус 52.0 °С.

Продолжительность периода с устойчивыми морозами – 251 день.

Средняя годовая температура поверхности почвы составляет минус 10.1 °С, средняя температура самого холодного месяца (февраля) – минус 28 °С, самого теплого (июля) – плюс 9.8 °С.

Число дней со снежным покровом составляет 231 день.

Средняя за зиму высота снежного покрова составляет 35 см, наибольшая за зиму составляет 78 см. Рекомендуемое для проектирования нормативное значение веса снегового покрова составляет 2,5 кПа (кг/м²) и соответствует V снеговому району.

Согласно структурно-морфологическому районированию территория изысканий относится к Усть-Обскому району развития низких морских и речных террас.

Рельеф западного склона Гыдана представлен комплексом лагунно-морских позднечетвертичных аккумулятивных террас, формирование которых происходило в условиях морской лагуны. Первая лагунно-морская терраса сложена преимущественно песчаными отложениями и располагается на абсолютных отметках рельефа от 0 до 7-15 м. Поверхность террасы расчленена оврагами; глубина эрозионного вреза 3-6 м.

Широко развиты полигональные формы рельефа; заозеренность площади 15-20 %.

По гидрологическим условиям район изысканий относится к IV району – тундре. Реки снегового, дождевого питания имеют небольшие размеры.

Густота речной сети в среднем 0,3–0,4 км/км², врезы речных долин и оврагов от 20 до 40 м.

Характерна высокая заболоченность территории и обилие озёр, 80% которых являются внутриболотными.

Комплексными работами исследована верхняя часть разреза криолитозоны до глубины 10-20 м, которая будет служить их естественным основанием для проектируемых объектов промышленного строительства.

Четвертичные отложения представлены терригенными породами мощностью в сотни метров. В разрезе преобладают суглинки, супеси, мелкие и пылеватые пески, слагающие комплекс позднеплейстоцен-голоценовых террас морского и лагунно-морского происхождения.

Глинистые грунты наиболее типичны для толщ морского генезиса, прибрежно-морские, лагунно-морские и аллювиальные образования имеют песчаный состав.

Поверхности террас, пойм ляды подвергались воздействию экзогенных геологических процессов (морозобойному растрескиванию, образованию повторно-жильных льдов (ПЖЛ), термокарсту, термоденудации, заболачиванию и др.), что привело к накоплению озерно-болотных отложений.

На территории изысканий доминируют три типа разрезов: 1) преимущественно песчаного состава; 2) переслаивания песков, супесей, суглинков и 3) преимущественно суглинистого состава.

Слагающие толщи отложения претерпели лишь начальные стадии литогенеза и в немерзлом состоянии обладают невысокой несущей способностью и являются повышенно сжимаемыми.

Свойства грунтов определяются совокупностью геокриологических факторов: температурой, типом, режимом (сезонным, многолетним) промерзания, льдистостью, криогенным строением, засоленностью.

Полевые инженерно-изыскательские работы включали колонковое бурение диаметром 108–112 мм 871 скважины общим объёмом 13761 погонных метров (п. м.), с отбором 1763 проб монолитов и 2693 проб с нарушенной структурой.

Инженерно-геофизическое изучение грунтов составило 430 определений удельного электрического сопротивления (аппаратура Скала-48) и 155 определений блуждающих токов.

Термометрия ММГ по 833 точкам осуществлялась комплексом Kriolab ТК 1,5/20/21, ТКЛ; и статическое зондирование талых грунтов выполнялось комплектом аппаратуры ТЕСТ-К4М зондом II типа.

Полный комплекс физических свойств мерзлых (1150 определений) и талых (12 определений) глинистых грунтов, полный комплекс физических свойств мерзлых (578 определений) и талых (16 определений) песчаных грунтов, оценка коррозионной активности грунтов по отношению к стали (151 образцов) и бетону (151 образцов), гранулометрический анализ грунтов (1275 определений) и ещё более 30 видов комплексов аналитических исследований состава и свойств многолетнемерзлых и талых грунтов, подземных вод проводились в аккредитованной грунтовой лаборатории ООО «Центр Геокриологии МГУ» (г. Новый Уренгой и г. Усинск).

Комплексный анализ результатов полевых работ и данных лабораторных исследований ММГ объекта изысканий позволил выделить в исследованной части разреза криолитозоны объекта изысканий западной части Гыданского полуострова 17 инженерно-геологических элементов (табл. 1, рис. 2).

Минеральный состав обломочной составляющей терригенных ММГ определяют кварц, плагиоклазы, калиевый полевой шпат, как примеси устанавливаются амфибол, слюды, хлорит и др.

Геокриологические исследования ММГ проводились с помощью контроллера TKS61 (рис. 3).

Проведённый гранулометрический анализ терригенных ММГ показал преобладание минеральных зёрен средних размеров от 1 до 5 мм. В супесях преобладают зёрна 1 мм, слоистых песках – 5 мм.

Эти данные в целом корреспондируются с результатами гранулометрического анализа, проведённого в процессе изучения химического и минерального состава грунтового керна, представленного торфом, песком, супесью и суглинком, полученных из скважины вблизи оз. Парисенто на полуострове. Были выявлены особенности распределения и накопления ряда химических элементов в зависимости от размерности первичного терригенного материала в составе разных литотипов ММГ полуострова [Саева О.П. и др. 2019].

Таблица 1

Инженерно-геологические элементы (ИГЭ) и инженерно-геологические слои (ИГС)

Номер ИГЭ, ИГС	Характеристика литотипа ИГЭ или ИГС ММГ	Глубина залегания, м		Вскрытая мощность, м макс./мин.
		подошвы мин./макс.	кровли мин./макс.	
ИГС 31	Супесь пластичная ImQIII-IV	0,20 / 8,60	0,40 / 12,20	3,60 / 0,20
ИГС 60	Ил супесчаный сильнольдистый с низким содержанием органического вещества bQIV	0,00 / 6,10	1,20 / 7,20	1,20 / 0,90
ИГЭ 81	Лед	0,20 / 13,60	1,00 / 15,50	6,70 / 0,20
ИГЭ 91	Торф мерзлый слаборазложившийся bQIV	0,00 / 10,50	0,10 / 12,00	2,20 / 0,10
ИГЭ 441	Песок мелкий влажный средней плотности ImQIII-IV	0,00 / 11,60	0,40 / 3,00	2,50 / 0,10
ИГЭ 442	Песок мелкий средней плотности водонасыщенный, ImQIII-IV	0,00 / 14,50	0,30 / 14,70	10,90 / 0,10
ИГЭ 452	Песок пылеватый средней плотности водонасыщенный, ImQIII-IV	0,00 / 13,20	0,60 / 13,80	13,00 / 0,10
ИГЭ 708	Насыпной грунт мерзлый слабольдистый (песок от средней крупности до пылеватого) tQIV	0,00 / 0,00	0,20 / 3,40	3,40 / 0,20
ИГЭ 1002	Глина мерзлая нельдистая средnezасоленная при оттаивании полутвердая	5,00 / 17,40	8,00 / 20,30	8,30 / 1,60
ИГЭ 1102	Глина мерзлая слабольдистая средnezасоленная при оттаивании тугопластичная	5,00 / 18,30	10,00 / 20,50	7,00 / 1,10
ИГЭ 2002	Суглинок мерзлый нельдистый средnezасоленный при оттаивании тугопластичный ImQIII-IV	9,00 / 20,50	10,60 / 24,00	6,50 / 0,60
ИГЭ 2102	Суглинок мерзлый слабольдистый средnezасоленный при оттаивании текучепластичный ImQIII-IV	0,10 / 22,30	0,60 / 24,00	11,80 / 0,30
ИГЭ 2201	Суглинок мерзлый, льдистый, слабозасоленный при оттаивании текучий ImQIII-IV	0,10 / 17,00	0,50 / 20,00	3,80 / 0,40
ИГЭ 3002	Супесь мерзлая нельдистая средnezасоленная при оттаивании пластичная ImQIII-IV	0,10 / 23,20	0,70 / 26,50	12,00 / 0,40
ИГЭ 3101	Супесь мерзлая слабольдистая слабозасоленная при оттаивании текучая ImQIII-IV	0,00 / 12,50	0,40 / 18,00	8,00 / 0,20
ИГЭ 3102	Супесь мерзлая слабольдистая средnezасоленная при оттаивании текучая ImQIII-IV	0,10 / 21,50	4,00 / 25,00	14,00 / 0,30
ИГЭ 3202	Супесь мерзлая льдистая средnezасоленная при оттаивании текучая ImQIII-IV	0,00 / 16,80	0,80 / 17,00	9,70 / 0,20
ИГЭ 4411	Песок мелкий мерзлый слабольдистый слабозасоленный при оттаивании средней плотности водонасыщенный ImQIII-IV	0,00 / 8,00	0,20 / 12,00	11,50 / 0,20
ИГЭ 4412	Песок мелкий мерзлый слабольдистый средnezасоленный при оттаивании плотный водонасыщенный ImQIII-IV	0,00 / 20,40	0,40 / 22,80	16,40 / 0,20
ИГЭ 4421	Песок мелкий льдистый слабозасоленный при оттаивании рыхлый водонасыщенный ImQIII-IV	0,00 / 4,00	0,10 / 14,00	13,90 / 0,10
ИГЭ 4422	Песок мелкий мерзлый льдистый средnezасоленный при оттаивании рыхлый водонасыщенный ImQIII-IV	0,10 / 21,50	0,90 / 23,00	15,80 / 0,30
ИГЭ 4511	Песок пылеватый мерзлый слабольдистый слабозасоленный при оттаивании плотный водонасыщенный ImQIII-IV	0,00 / 12,00	0,30 / 14,80	6,30 / 0,10
ИГЭ 4512	Песок пылеватый мерзлый слабольдистый средnezасоленный при оттаивании плотный водонасыщенный ImQIII-IV	0,10 / 18,40	1,80 / 21,40	16,90 / 0,30
ИГЭ 4521	Песок пылеватый мерзлый льдистый слабозасоленный при оттаивании рыхлый водонасыщенный ImQIII-IV	0,00 / 10,20	0,80 / 15,00	8,60 / 0,30
ИГЭ 4522	Песок пылеватый мерзлый льдистый средnezасоленный при оттаивании рыхлый водонасыщенный ImQIII-IV	1,00 / 19,00	2,00 / 21,50	14,10 / 0,40

На участке изысканий распространены засоленные песчаные грунты. Грунты по степени засоления – слабозасоленные. Степень агрессивного воздействия сульфатов в грунтах на бетонные конструкции для бетона марки по водопроницаемости W/4 – слабоагрессивная, для бетонов марки W/6-W/20 – неагрессивная.

Степень агрессивного воздействия грунта на арматуру железобетонных конструкций – неагрессивная. Коррозионная агрессивность грунтов по отношению к углеродистой и низколегированной стали – от средней до высокой.



Рис. 2. Выкладка керна колонковых скважин монолитов и материала с нарушенной структурой (А). Литотипы ММГ некоторых ИГЭ разреза криолитозоны объекта изысканий

Группа специфических грунтов в районе представлена современными биогенными, органоминеральными и засоленными грунтами. К органическим относятся мохово-растительный слой и торф. Засоленные грунты на участке изысканий представлены песками мерзлыми.

В таблице 2 представлены полученные результаты определения ряда важных показателей физических свойств мёрзлых и талых грунтов криолитозоны объекта изысканий.

Некоторые показатели физических свойств мерзлых и талых ИГЭ объекта (составлено авторами)

ИГЭ	Влажность естественная суммарная W_{tot} , (д.е)	Плотность частиц грунта P_s ($г/см^3$)	Коэффициент пористости e (д.е.)	Коэффициент водоносности	Льдистость суммарная I_{tot} , (д.е.)	Засоленность D_{sol} , %	Удельное электрич. сопротивление $Ом^*м$	Температура начала замерзания, Твз
Талые грунты								
ИГЭ-2	0,289	2,71	0,89	0,87	-	0,1204	28,77	-0,13
ИГЭ-4	0,240	2,64	0,75	0,95	-	0,0508	17,02	-0,11
Мёрзлые грунты								
ИГЭ-3	5,856	1,65	10,47	0,92	0,71	-	37,48	-0,12
ИГЭ-5	0,291	2,73	0,91	0,88	0,19	0,125	19,87	-0,25-
ИГЭ-6	0,216	2,71	0,67	0,87	0,20	0,115	19,38	-0,20
ИГЭ-7	0,282	2,71	0,84	0,87	0,26	0,109	17,27	-0,20
ИГЭ-8	0,369	2,71	1,15	0,88	0,36	0,105	20,48	-0,19
ИГЭ-9	0,224	2,68	0,66	0,88	0,25	0,108	19,56	-0,16
ИГЭ-10	0,287	2,68	0,82	0,89	0,30	0,106	15,20	-0,16
ИГЭ-14	0,195	2,64	0,58	0,89	0,34	0,125	20,67	-0,29
ИГЭ-15	0,284	2,64	0,83	0,90	0,44	0,085	13,41	-0,20
ИГЭ-16	0,195	2,64	0,58	0,88	0,34	0,125	17,88	-0,30
ИГЭ-17	0,289	2,65	0,83	0,90	0,43	0,126	16,68	-0,29
ИГЭ-11	0,343	2,67	0,96	0,95	0,43	0,111	22,06	-0,16
ИГЭ-12	0,580	2,68	1,68	0,93	0,57	0,137	18,80	-0,21
ИГЭ-13	0,216	2,65	0,65	0,89	0,37	0,099	-	-0,29

К природными процессам, негативно влияющим на инженерно-геологическую обстановку в районе проведения изысканий, следует отнести подтопление территории, заболачивание и торфообразование, морозное пучение грунтов в зоне сезонного промерзания-оттаивания, криогенное пучение грунтов (бугры пучения).

К сильно пучинистым отнесены 66,7% от числа выделенных в отложениях криолитозоны ИГЭ, к среднепучинистым – 26,7%, к непучинистым 6,6%.

Геологический разрез на всю глубину бурения сложен высокоомными грунтами.

Высокие удельные электрические сопротивления грунтов объясняются криогенным состоянием геологической среды.

Коррозионная агрессивность грунтов по отношению к углеродистой стали до глубины 1 м – низкая (мерзлые грунты), до глубины 3 м – низкая (мерзлые грунты).

Блуждающие токи не выявлены.

Термометрические исследования для измерения температуры грунтов в геологических скважинах осуществлялись прибором ТКЛ с термокосой ТК 1,5/20/21.



А



Б

Рис. 3. А. Термометрия ММГ с помощью контроллера ТКС61 в скважине глубиной 10 м; Б. Схема термометрической скважины глубиной 17,0 м: 1 – защитная крышка, 2 – обсадная труба, 3 – термокоса, 4 – датчики

Инженерно-геологические условия территории проведённых изысканий оценены как сложные. Специфические грунты и опасные инженерно-геологические процессы широко распространены.

Изменений инженерно-геологических и геокриологических условий не произойдет при сохранении естественных условий грунтов и проведении комплекса необходимых мероприятий (Мустафин С.К. и др., 2025).

Для уменьшения последствий техногенного воздействия на геологические и геокриологические условия рекомендуется предусмотреть комплекс мероприятий по обеспечению сохранения расчетного теплового режима грунтов основания в процессе строительства и последующей эксплуатации промышленных объектов на весь период жизненного цикла.

Результаты инженерно-геологических исследований составят основу для формирования базы данных регионального геомониторинга и инженерно-геокриологического районирования криолитозоны территорий промышленного освоения АЗРФ, в первую очередь недропользования.

Библиографический список

1. Мустафин С.К., Милушкина А.В., Милушкин К.С. Состав и свойства многолетнемерзлых четвертичных пород криолитозоны территории промышленного освоения полуострова Гыдан. Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: материалы XV Международной научно-практической конференции, 31 марта – 3 апреля 2025 г., г. Якутск: Издательский дом СВФУ, 2025. – С. 563-568.
2. Саева О.П., Юркевич Н.В., Сеницкий А.И. и др. Особенности распределения элементов в многолетнемерзлых породах полуострова Гыдан // Интерэкспо Гео Сибирь. – 2019. – 2(2):129-136.

© Милушкин К.С., Милушкина А.В., Мустафин С.К., 2026

УДК 624.131.1

Д.С. Симонов,
студент 4 курса,
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа
Научный руководитель: Г.Ф. Хасанова
кандидат географических наук,
Уфимский университет наук и технологий, г. Уфа

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ВОЯДИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕФТИ

Аннотация. В работе рассмотрены инженерно-геологические условия Воядинского участка технических подземных вод, границы которого совпадают с лицензионной территорией одноимённого нефтяного месторождения, расположенного в Янаульском районе Республики Башкортостан. Участок характеризуется наличием временных и техногенных водоносных горизонтов, низкой фильтрационной способностью глинистых пород, а также предрасположенностью к подтоплению, развитию верховодки и морозному пучению. На основании анализа геологических, гидрогеологических и техногенных факторов выполнена оценка опасности геологических процессов, включая карстовые проявления и сейсмическую активность. Определены категории устойчивости территории по карстовой и сейсмической опасности, даны рекомендации по инженерной защите при строительстве и эксплуатации объектов. Воядинское нефтяное месторождение расположено на территории Республика Башкортостан, в северо-западной части региона, в пределах Янаульский район, на расстоянии около 185 км к северо-западу от Уфы, в пределах листа 0-40-XXXI международной топографической разграфки масштаба 1:200 000.

Ключевые слова. Воядинский участок, технические подземные воды, Воядинское нефтяное месторождение, Янаульский район, Республика Башкортостан, временные и техногенные водоносные горизонты, фильтрационная способность глинистых пород, подтопление, верховодка, морозное пучение, карстовые проявления, сейсмическая активность, категории устойчивости, инженерная защита.

GEOLOGICAL AND ENGINEERING-GEOLOGICAL PROCESSES OF THE VOYADINSKOYE OIL FIELD

Abstract. The paper considers the engineering-geological conditions of the Voyadinsky site of technical groundwater, whose boundaries coincide with the licensed territory of the oil field located in the Yanaulsky District of the Republic of Bashkortostan. The site is characterized by the presence of temporary and technogenic aquifers, low filtration capacity of clayey rocks, as well as a predisposition to waterlogging, development of perched water, and frost heaving. Based on the analysis of geological, hydrogeological, and technogenic factors, an assessment of the hazard of geological processes, including karst manifestations and seismic activity, was performed. The categories of territory stability with respect to

karst and seismic hazards were determined, and recommendations for engineering protection during construction and operation of facilities are given. The Voyadinskoye oil field is located in the Republic of Bashkortostan, in the northwestern part of the region, within the Yanaulsky District, approximately 185 km northwest of Ufa, within sheet 0-40-XXXI of the international topographical subdivision at a scale of 1:200 000.

Keywords: Voyadinsky site, technical groundwater, Voyadinskoye oil field, Yanaulsky District, Republic of Bashkortostan, temporary and technogenic aquifers, filtration capacity of clayey rocks, waterlogging, perched water, frost heaving, karst manifestations, seismic activity, stability categories, engineering protection.

Разработка Воядинское нефтяное месторождение ведется с 1972 года Башнефть. Недропользовательский участок имеет статус горного отвода, ограниченного по разрезу сверху кровлей каширского горизонта, а снизу – подошвой турнейского яруса нижнего карбона. В тектоническом отношении территория изысканий расположена в пределах восточной окраины Русской платформы Башкирского свода. Подземные воды в период изысканий (август 2021 г.) до разведанной глубины 10,0 м не вскрыты. Согласно приложению И СП 11-105-97 (часть II), исследуемая территория относится к потенциально подтопляемым районам, где возможно развитие подтопления вследствие техногенного воздействия. Участок классифицируется как II-Б1-1,2,...,n, что соответствует медленному подъему уровня грунтовых вод. Согласно СП 115.13330.2016, опасность подтопления на территории оценивается как умеренная.

Таблица 1

Единый сводный инженерно-геологический разрез					
Возраст	№ ИГЭ	Описание грунтов	Мощность (м)		Характер залегания
			От	до	
LI-III	1501	Песок мелкий коричневый однородный средней плотности средней степени водонасыщения. Вскрыт всеми скважинами в верхней части разреза	4,40	4,60	согласное
LI-III	0403	Суглинок тяжелый песчанистый мягкопластичный. Вскрыт всеми скважинами в нижней части разреза	5,40	5,60	согласное

С учетом особенностей рельефа территории, представленного балками и локальными понижениями, а также присутствия слабопроницаемых грунтов, в периоды повышенной водообильности возможно формирование верховодки в пределах зоны аэрации. Временный водоносный горизонт типа верховодки формируется сезонно, преимущественно в апреле–мае, в результате интенсивного снеготаяния при ограниченной инфильтрационной способности суглинистых грунтов. Для данного горизонта характерен неустойчивый уровень залегания, изменяющийся в зависимости от степени увлажнения в течение года. Также возможно образование техногенного водоносного горизонта, связанного с накоплением воды в обратных насыпках, траншеях и котлованах в период строительства, а также за счет инфильтрации поверхностных вод при нарушении естественного стока, задержке воды земляными насыпями, технологическими площадками и дорогами. Дополнительным источником могут служить утечки из водонесущих коммуникаций и сооружений с влажными технологическими процессами.

Значения коэффициентов фильтрации составляют:

- для глинистых грунтов – менее 0,001 м/сут.;
- для мелких песков – от 1 до 5 м/сут.

Гидрологические факторы наиболее выражены в пойменных участках рек, где сезонные колебания уровня воды проявляются особенно заметно в периоды повышенной водности. Строительная деятельность способна изменить режим подземных вод на участках вскрытия водоносных горизонтов вследствие нарушения естественного сложения водовмещающих пород и сокращения испарения под застроенными площадями. Особенно заметное влияние ожидается там, где присутствуют слабопроницаемые подстилающие грунты. Метеорологические условия, влияющие на подъем уровня подземных вод, также носят сезонный характер и проявляются при преобладании атмосферных осадков над испарением. Карстовые процессы. Согласно приложению В СП 116.13330.2012[3], на территории Республика Башкортостан отмечены поверхностные проявления карстовых процессов. Однако в пределах рассматриваемого участка и прилегающей территории поверхностные формы карста не зафиксированы. По приложению 2.1 ТСН 302-50-95 РБ территория соответствует классу карста I-A (Башкирский свод).

Категория карстовой устойчивости определена по следующим признакам:

1. Расстояние до ближайшего карстопроявления превышает 250 м;
2. Интенсивность провалообразования не превышает 0,01 случая/год на 1 км²;
3. Карстовые полости, зоны разуплотнения и тектонические нарушения по данным бурения отсутствуют;
4. Карстующиеся породы до глубины 10 м не выявлены;
5. За весь период эксплуатации месторождения карстовые провалы не зарегистрированы.

По результатам анализа участок относится к VI категории устойчивости.

Морозное пучение. Среди инженерно-геологических процессов следует учитывать потенциальное морозное пучение грунтов. Оно проявляется как сезонное увеличение объема влажных дисперсных грунтов при промерзании, что может вызывать деформацию оснований сооружений. При последующем оттаивании наблюдается разуплотнение грунта и снижение его несущей способности. Наиболее активно эти процессы развиваются в пределах глубины сезонного промерзания. В отдельные годы при интенсивных весенних осадках возможно дополнительное увлажнение верхней толщи грунтов, вследствие чего степень пучинистости может возрастать до сильнопучинистой. Для инженерной защиты рекомендуется предусматривать противопучинистые мероприятия в соответствии с требованиями действующих нормативов. Согласно СП 115.13330.2016[4] участок относится к весьма опасным по категории процессов морозного пучения.

Таблица 2

Степень морозной пучинистости

Номер ИГЭ	Степень морозной пучинистости (ϵ_{fn}), %	Разновидность грунтов
ИГЭ-1501	0,012	Слабопучинистый

Эндогенные процессы. Согласно картам ОСП-2015-А, ОСП-2015-В и ОСП-2015-С СП 14.13330.2018 расчетная сейсмичность территории составляет:

- по карте ОСП-2015-А – 5 баллов;
- по карте ОСП-2015-В – 5 баллов;
- по карте ОСП-2015-С – 6 баллов.

Для площадки строительства принимается значение 5 баллов по карте ОСП-2015-В. Категория опасности сейсмических процессов оценивается как умеренная.

Прогноз инженерно-геологических процессов. В период строительства и дальнейшей эксплуатации вследствие нарушения естественного залегания грунтов возможно усиление ранее выявленных неблагоприятных геологических процессов. С учетом прогнозируемого развития процессов рекомендуется предусматривать комплекс водозащитных мероприятий, а также инженерную защиту от морозного пучения в соответствии с действующими нормативными документами. Согласно приложению Г СП 47.13330.2016, участок работ, по инженерно-геологическим условиям, относится ко II категории сложности [5].

Библиографический список

1. Государственная геологическая карта масштаба 1: 1000 000, Лист О-40 – Пермь, (Уральская серия, третье поколение). Карты утверждены филиалом научно-редакционного совета ВСЕГЕИ, в 2010 г.
2. Инженерная геология СССР. т. 1. Русская платформа. Под ред. Е.Г. Чаповского. М., Изд-во Московского университета, 1977 – 496 с.
3. СП 116.13330.2012 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 22-02-2003. М. 2012.
4. СП 11-105-97. Инженерные изыскания для строительства. Части I-III. Общие правила производства работ. Госстрой России. - М., ПНИИИС России, 1997.
5. СП 47.13330.2016 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. М. 2012.

© Симонов.Д.С., Хасанова Г.Ф., 2026

СЕКЦИЯ 3. ГИДРОЛОГИЯ, ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И ПРОБЛЕМЫ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 556.55

Т.В. Ажиба,
научный сотрудник
Рицинский реликтовый национальный парк,
Республика Абхазия

РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ОЗЕРА ГУАРАП

Аннотация. В статье представлены результаты гидрогеологических исследований озера Гуарап, расположенного в Национальном парке «Кодорское ущелье». Дана классификация озера по происхождению, приведены его морфологические и морфометрические характеристики, а также результаты батиметрической съемки.

Ключевые слова. Абхазия, Гуарап, Метод-Стэмпа, батиметрия, мультиспектральный-снимок, ArcGIS-Pro

RESULTS OF A COMPREHENSIVE STUDY OF LAKE GUARAP

Abstract. This article presents the results of hydrogeological studies of Lake Guarap, located in the Kodori Gorge National Park. It classifies the lake by origin, presents its morphological and morphometric characteristics, and includes the results of a bathymetric survey.

Keywords. Abkhazia, Guarap, Stumpf method, bathymetry, multispectral-imagery, ArcGIS-Pro

Озера Абхазии, в том числе озера национального парка «Кодорское ущелье» до сих пор не были предметом систематических научных исследований, а имеющиеся сведения о них зачастую ограничиваются лишь фрагментарными описаниями прошлых десятилетий. Озеро Гуарап (Горапи) не является исключением. Именно поэтому данное исследование направлено на комплексное изучение одного из малоизученных озер Абхазии, что позволит не только охарактеризовать конкретный водоем, но и заложить основу для гидрогеологических исследований озер Абхазии.

История образования озер Кавказа сложна, многообразна и многое здесь не исследовано. Возникновению озер способствуют различные природные факторы, которые объединяются в три основные группы: климатические, геологические и геоморфологические. В Абхазии насчитывается 186 озер (Тания и др., 2014).

Национальный парк «Кодорское ущелье» располагается в восточной части Абхазии на территории Гулрыпшского и Очамчёрского районов общей площадью 136 440 га. (рис. 1).

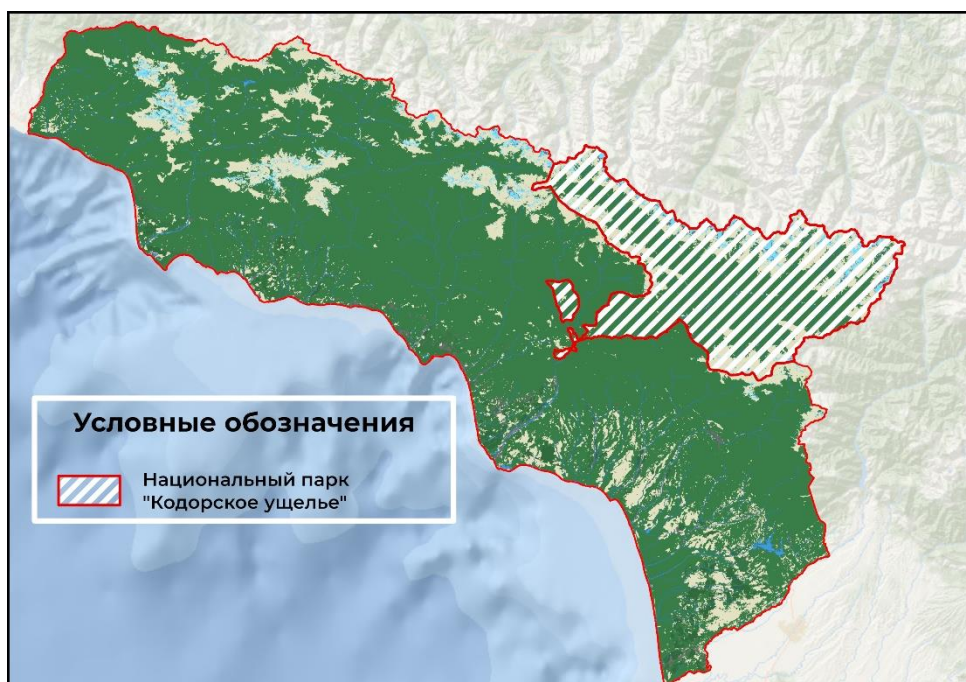


Рис. 1. Национальный парк "Кодорское ущелье"

Национальный парк «Кодорское ущелье» (НП «КУ») занимает значительное место не только в масштабах Абхазии и всего Кавказа. К территории национального парка с севера примыкает Тебердинский заповедник (РФ), с запада – Псху-Гумистинский и Рицинский реликтовый национальный парк (Абхазия), который западнее смыкается с Кавказским биосферным заповедником (РФ), образуя единую систему особо охраняемых природных территорий по обе стороны Главного Кавказского хребта.

Рельеф территории парка сложный и отличается высокой энергией рельефа с перепадом высот более 3500 м. Здесь расположены самые высокие вершины и хребты Абхазии. Наиболее высокой из них является – гребень Главного Кавказского хребта, на этом гребне возвышаются высочайшие вершины Абхазии: Домбай-Ульген (4046 м), Гуандра (3984 м), Эрцаху (3910 м) и др. Гребень Большого Кавказа состоит из древних докембрийских и палеозойских массивно-кристаллических и метаморфических пород, очень устойчивых к разрушению. Комплекс складок юрских отложений сланцев и песчаников южного склона Чхалтинского хребта прорван интрузиями кислых и вулканических пород – гранитами, гранитоидами, базальтами, габбро, диабазами и др. Южнее юрские отложения сменяются осадочными карбонатными – известняками мела, где представлены всевозможные карстовые формы рельефа – каньоны, пещеры, гроты, подземные водотоки, мощные грифоны. В системе Чхалтского хребта располагаются вершина Адзгара (2735 м) и Гуарап (2742 м) (Авидзба и др., 2022).

В целом на территории парка количество осадков относительно умеренные, за год количество осадков составляет от 1418 мм до 1852 мм. На территории национального парка по картографическим материалам насчитывается около 60 озер. Преимущественно распространены озера ледникового происхождения. В зоне сложных тектонических нарушений встречаются озера разного генезиса: обвальное-тектоническое озеро Амткял (Амткел), а также каровые и моренно-подпрудные озера.



Рис. 2. Озеро Гуарап в системе бассейнов Адзгара, в НП «КУ»

Озеро Гуарап расположено на территории национального парка «Кодорское ущелье» в юго-восточной части Чхалтинского хребта, в системе бассейна рек Адзгара (Чхалта) – Кодор (рис. 2). Озеро расположено на высоте 2164,2 метра над уровнем моря. Координаты озера - 43° 10' 41.23" с.ш. 041° 30' 50.19" в.д. (с. к. WGS 1984)

Рельеф в окрестностях озера представлен хорошо выраженными ледниковыми формами. Прибрежный рельеф дифференцирован по экспозиции (рис. 3). Северный сектор отличается значительным

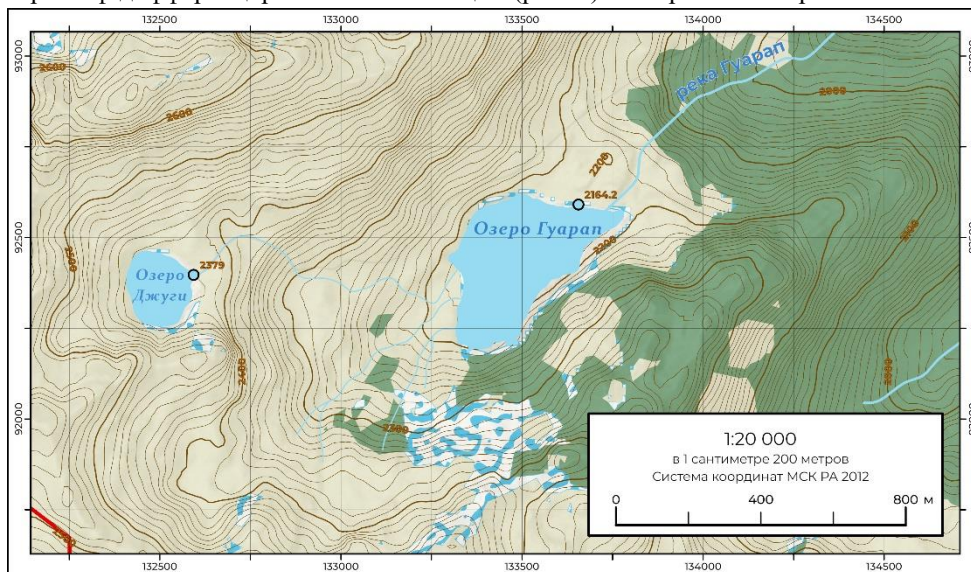


Рис. 3. Физическая карта озера Гуарап

уклоном и ступенчатым профилем склона. Северо-восточный и восточный сектора отличаются относительно пологим уклоном. Как свидетельствует анализ картографического материала (рис. 3), в этой части присутствует значительный перепад высот; здесь же расположен исток реки Гуарап (Горапи), впадающий далее в р. Адзгара (Чхалта). Юго-восточный и южный сектора характеризуются крутыми скалистыми склонами с интенсивно проявленными ледниковыми формами рельефа. Юго-западный, западный и северо-восточный сектора имеют выположенный характер рельефа.

Район сложен юрскими отложениями. Северо-западная и юго-западная часть озера сложена среднеюрскими отложениями – туфопесчаники и кремнистые глинистые сланцы. Северо-восточная часть озера сложена нижнеюрскими отложениями - глинистые сланцы, аргиллиты и аркозовые песчаники (рис. 4). Более подробное описание геологического строения указаны в табл. 1.

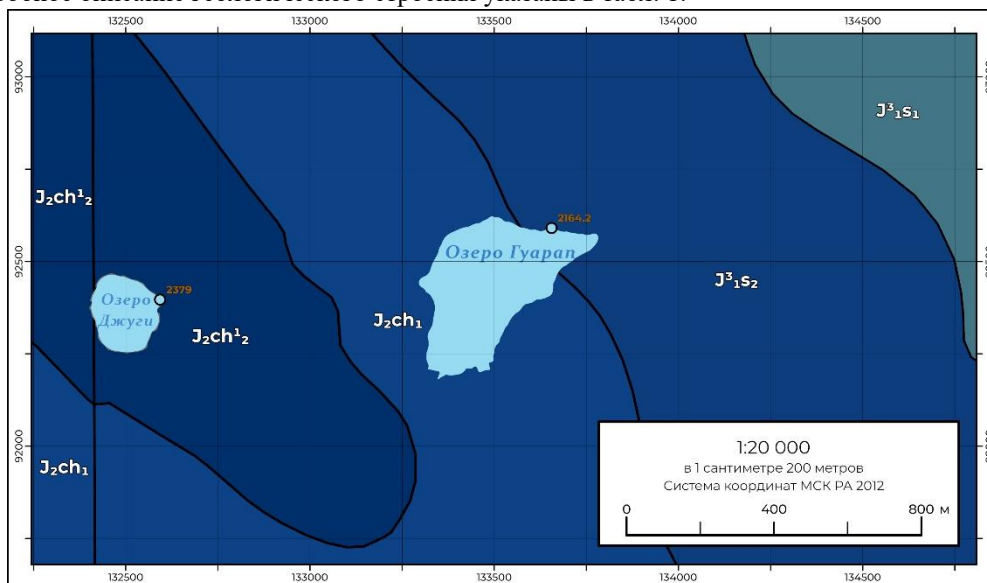


Рис. 4. Геологическая карта Озера Гуарап

Таблица 1

Геологическое строение оз. Гуарап

Северо-западная и юго-западная часть		Северо-восточная	
Система	Юрская	Система	Юрская
Отдел	Средний отдел	Отдел	Нижний
Ярус	Байосский	Ярус	

Свита	Ходжалская (порфиритовая)	Свита	Сорская
Подсвита	Нижняя	Подсвита	Верхняя
Горные породы	Туфопесчаники и кремнистые глинистые сланцы	Горные породы	Глинистые сланцы, аргиллиты и аркозовые песчаники
Индекс	J ₂ ch ₁	Индекс	J ³ is ₂

Методы исследования: морфометрическая характеристика озера изучалась в местной системе координат «МСК РА 2012».

Высокогорное расположение объекта ограничило доступ к акватории, затруднило доставку маломерного судна и сжало сроки выполнения полевых батиметрических работ. В качестве альтернативного плавсредства использовался сапборд (стоячая доска), что позволило выполнить промеры глубины лотом в 19 точках. Координаты точек фиксировались спутниковым навигатором Garmin GPSMAP 62.

Сплошное батиметрическое покрытие акватории оказалось недостижимо в рамках полевого этапа. Для восполнения этого пробела и анализа глубинной структуры озера привлечены мультиспектральные снимки Sentinel-2 уровня обработки Level-2 (с атмосферной коррекцией). Дата съёмки 30 июля 2025 года, облачность: 5,38%. Используются каналы B2, B3, B4, B8 с пространственным разрешением 10 м.

Расчет глубин по спутниковым данным реализован «с помощью Метод Стэмпа» (log-ratio model), основанного на линейной регрессии между глубиной и отношением натуральных логарифмов двух спектральных каналов, что позволяет уменьшить влияние неоднородного дна и качества воды (Caballero и др., 2019), (Pacheco и др., 2015), (Stumpf и др., 2003).

В основе модели лежат данные батиметрической съёмки по 19 точкам (таблица 2).

Данный метод позволяет оценить глубину прибрежных и внутренних водоемов, глубиной не более 15-20 метров. Работа выполнялась в среде ArcGIS Pro 3.3.2, обработка спутниковых снимков Sentinel-2 проводилась в системе координат WGS 1984 UTM Zone 37N. Краткое описание процесса обработки данных:

- Импорт снимка через файл метаданных «MTD_MSIL2A.xml».
- Экспорт в многоканальный растр GeoTIFF.
- Преобразование цифровых значений в коэффициент отражения.
- Обрезка по области интереса.
- Расчет NDWI и создание бинарной маски воды.
- Постобработка маски.
- Извлечение водной части снимка.
- Расчёт натуральных логарифмов, масштабированных синего и зелёного каналов.
- Вычисление отношения логарифмов (Band Ratio).
- Калибровка по полевым точкам (критически важно включить точки с нулевой глубиной на урезе воды; при их отсутствии создаются виртуальные точки вдоль береговой линии). Извлечение значений Band Ratio в точки для регрессионного анализа.
- Применение полученного уравнения ко всему растру.
- Обрезка отрицательных глубин.
- Сглаживание раstra.
- Построение изобат.
- Оформление карты.

Таблица 2

Результат батиметрической съёмки

Номер	Широта (y)	Долгота (x)	Глубина
1	43° 10' 40.76" N	041° 30' 47.42" E	1.5
2	43° 10' 40.75" N	041° 30' 49.78" E	2
3	43° 10' 40.35" N	041° 30' 49.96" E	3.5
4	43° 10' 37.98" N	041° 30' 51.23" E	4
5	43° 10' 41.26" N	041° 30' 44.48" E	5
6	43° 10' 40.32" N	041° 30' 47.48" E	5
7	43° 10' 39.93" N	041° 30' 50.03" E	5
8	43° 10' 39.5" N	041° 30' 47.61" E	7
9	43° 10' 36.27" N	041° 30' 48.77" E	8
10	43° 10' 38.9" N	041° 30' 37.82" E	8.2
11	43° 10' 37.33" N	041° 30' 38.68" E	9.5
12	43° 10' 39.49" N	041° 30' 50.21" E	11
13	43° 10' 35.85" N	041° 30' 39.59" E	12.2
14	43° 10' 38.37" N	041° 30' 50.88" E	12.5
15	43° 10' 38.64" N	041° 30' 47.79" E	14

16	43° 10' 39.01" N	041° 30' 50.45" E	14
17	43° 10' 33.67" N	041° 30' 40.41" E	15
18	43° 10' 37.03" N	041° 30' 48.27" E	15
19	43° 10' 37.85" N	041° 30' 48.02" E	16

В зависимости от версии программного обеспечения наименования инструментов могут отличаться.

Ключевые инструменты, использованные в обработке: Raster Calculator (Калькулятор растра), Reclassify (Переклассификация) Extract by Mask (Извлечь по маске), Extract Values to Points (Извлечь значения в точки), Focal Statistics (Фокальная статистика), Contour (Изолинии), Create TIN (создать TIN).

В ходе исследований установлено, что водоем сформировался в результате экзарационной деятельности ледника, который, сползая, выпалал чашу, впоследствии заполнивший водой. Форма котловины овально-вытянутая. Изучение морфометрических характеристик позволило установить площадь озера, которая составила 11 га. (0,11 км²), длина береговой линии – 1,57 км. Питание озера осуществляется за счет атмосферных осадков и талых ледниковых вод, также существует поверхностный приток в виде ручья из озера Джуга, через ручей. Водоем относится к сточному типу: он обладает естественным стоком, в виде одной реки Гуарап.

На основе сглаженного растра глубин, полученного в результате обработки спутникового снимка Sentinel-2 и последующей калибровки батиметрической модели, построены изобаты с шагом 1м. Для улучшения визуального восприятия и придания изобатам более естественного вида по ним была построена триангуляционная нерегулярная сеть TIN (Triangulated Irregular Network) (рис.5), а сами линии подвергнуты минимальному сглаживанию, устранившему зубчатость, вызванную разрешением исходного растра. Максимальная глубина, зафиксированная натурными измерениями, составляет 16 м. По спутниковой модели этот показатель оценен в 14 м, что дает расхождение в 2 м. Такая разница находится в пределах типичной погрешности спутниковой батиметрии. С практической точки зрения это расхождение не является критичным для задач, связанных с выявлением общей морфологии дна, зонированием акватории по глубинам и предварительной оценкой объемов воды. Однако для точных гидрологических расчётов, например при определении объемов с высокой детальностью) рекомендуется учитывать систематическое занижение модели на максимальных глубинах при необходимости вводить поправочный коэффициент. Средняя глубина - 8,1 м.

Исходя из полученных данных; мелководная зона (0-2 м) занимает 20-25 % акватории, приурочена к юго-восточному и западному берегам. Зона средних глубин (2-8) охватывает центральную часть озера, а область максимальных глубин (12-14 м по модели) локализована в северо-западной части, что подтверждается замкнутыми изобатами. Калибровка выполнена по 36 точкам (в том числе 16 – точек уреза воды) с использованием полинома второй степени: $Depth = 13200 * Ratio^2 - 25833 * Ratio + 12638$. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,81$ (рис. 6); средняя абсолютная ошибка (MAE) – 0,9 м, среднеквадратическая (RMSE) – 1,2 м.

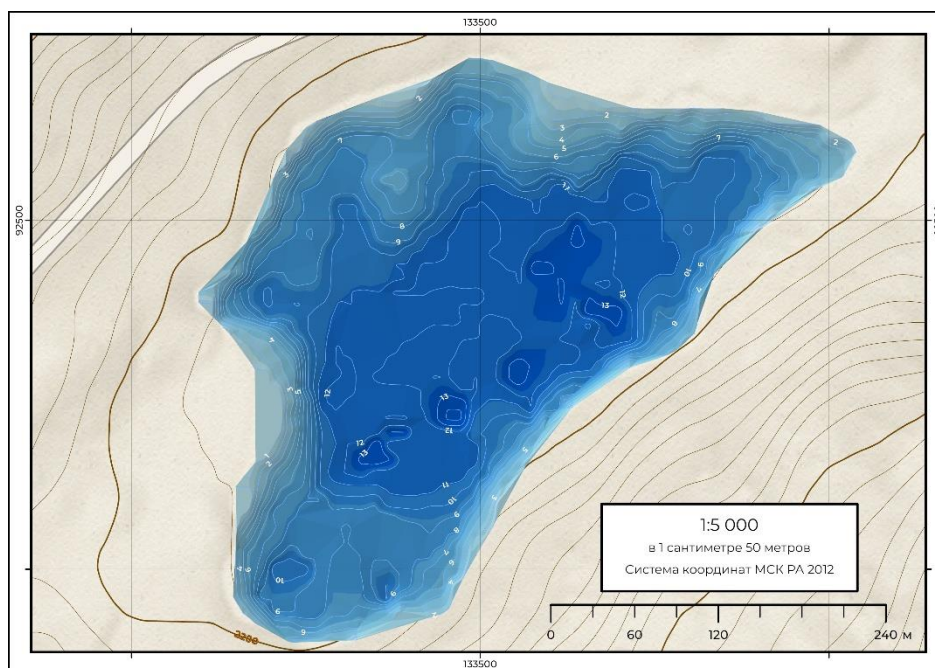


Рис. 5. Батиметрическая карта озера Гуарап

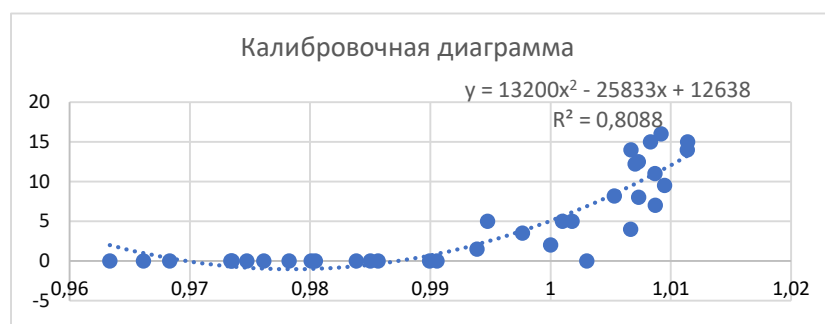


Рис. 6. Калибровочный график: глубина - Band_Ratio»

Полученная батиметрическая модель демонстрирует высокую детализацию и адекватно передает морфологию дна, однако фиксирует максимальную глубину 14 м, что на 2 м меньше значения, полученного по натурным промерам (16 м). Такое расхождение находится в пределах типичной погрешности спутниковой батиметрии для глубин свыше 10-12 м, где сигнал в синем и зеленом каналах сильно ослабевает, увеличивается влияние шумов и неопределенность калибровки.

В ходе проведенных работ была впервые создана детальная батиметрическая карта озера с разрешением 10 м. Модель обладает хорошей предсказательной способностью ($R^2 = 0,81$) и пригодна для расчета объема воды, анализа гидрологических процессов и экологических приложений при условии введения поправочного коэффициента для глубоководной зоны.

Библиографический список

1. Авидзба А.Ф., Анчабадзе Ю.Д., Багапш Н.В., Гегия Е.Г., Дбар А. Я., Салакая С.Ш., Саманба Л.Х. // Абхазия: краткая энциклопедия в 2 томах. Сухум - Санкт-Петербург, 2022. – 2 т
2. Рульков Д.И. Навигация и Лоция. Москва, Транспорт, 1973. 232 с.
3. Тания И.В., Смыр А.А. // Высокогорные озёра в изменяющихся климатических условиях Рицинского реликтового национального парка (Республика Абхазия) // Региональные проблемы водопользования в изменяющихся климатических условиях: Материалы научных докладов участников Международной научно-практической конференции. Уфа, Аэтерна, 2014. 340 с.
4. Caballero I., Stumpf R.P. Retrieval of nearshore bathymetry from Sentinel-2A and 2B using the empirical and deterministic approaches // Remote Sensing. 2019. Vol. 11, no. 5. P. 504.
5. Pacheco A., Horta J., Loureiro C., Ferreira Ó. Retrieval of nearshore bathymetry from Landsat-8 images: A tool for coastal monitoring in shallow waters // Remote Sensing of Environment. 2015. Vol. 159. P. 102–116.
6. Stumpf R.P., Holderied K., Sinclair M. Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types // Limnology and Oceanography, 2003. Vol. 48, no. 1, part 2. P. 547-556.

© Ажиба Т.В., 2026

А.М. Гареев,
д-р геогр. наук, профессор
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа
Д.И. Ахмедьянов,
канд. биол. наук, доцент,
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа
А.М. Шевченко,
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа
С.У. Уролов,
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа
Р.Р. Турьянова
канд. биол. наук, доцент,
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

ХАРАКТЕРИСТИКА ФОТОТРОФНОГО ПЛАНКТОНА И БЕНТОСА МАЛЫХ РЕК БАССЕЙНА РЕКИ УРАЛ В ПРЕДЕЛАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ОЦЕНКА ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Аннотация. В статье изложены результаты исследования биоразнообразия цианобактерий и водорослей в составе планктонных и бентосных сообществ малых рек бассейна Урала (РФ) в условиях антропогенной нагрузки. Исследование проведено в рамках выполнения комплексной научно-исследовательской работы по разработке научно обоснованных предложений по экологической реабилитации, сохранению и восстановлению трансграничной реки Урал. Биоиндикация на основе фототрофных сообществ позволила оценить экологическое состояние водотоков. Выявлены видовой состав, динамика обилия и ключевые факторы влияния. Результаты подобного мониторинга важны для разработки мер охраны водных экосистем региона.

Ключевые слова: малая река, экологические условия, влияющие факторы, хозяйственная деятельность, бассейн реки Урал, фототрофный планктон, фототрофный бентос.

CHARACTERISTICS OF PHOTOTROPHIC PLANKTON AND BENTHOS OF SMALL RIVERS OF THE URAL RIVER BASIN WITHIN THE RUSSIAN FEDERATION AND ASSESSMENT OF THEIR ECOLOGICAL STATE

Abstract. This article presents the results of a study of the biodiversity of cyanobacteria and algae within the planktonic and benthic communities of small rivers in the Ural River basin (Russia) under anthropogenic pressure. The study was conducted as part of a comprehensive research project to develop scientifically sound proposals for the environmental rehabilitation, conservation, and restoration of the transboundary Ural River. Bioindication based on phototrophic communities allowed us to assess the ecological status of watercourses. Species composition, abundance dynamics, and key influencing factors were identified. The results of this monitoring are important for developing measures to protect aquatic ecosystems in the region.

Keywords: small river, ecological conditions, influencing factors, economic activity, Ural River basin, phototrophic plankton, phototrophic benthos.

Введение

Бассейн реки Урал в пределах Российской Федерации в течение продолжительного времени испытывает высокую антропогенную нагрузку, которая усугубляется, в том числе, малой водностью рек региона, установившейся с начала 2000-х годов (Гареев, 2012, 2021, 2023). Постоянный мониторинг экосистем этих водных объектов является важной и актуальной задачей. Современный подход к рациональному, экологически обоснованному использованию природных ресурсов предполагает комплексное изучение всех компонентов экосистем и влияющих на них факторов. В рамках комплексного подхода в числе прочего используются биоиндикационные методы на основе характеристик сообществ гидробионтов. Они дают интегральную оценку результатов всех природных и антропогенных процессов, протекающих в водном объекте. Биоиндикация по сообществам цианобактерий и водорослей является доступным экспресс-методом (Биоиндикация..., 2007). Преимуществом автотрофов является то, что они первыми в трофической цепи реагируют на загрязнители, не успевая накапливать значительные их концентрации. Реакцией на изменение условий среды является смена состава и обилия водных организмов, причем это может произойти за несколько часов при смене условий среды (Баринова и др., 2006).

В связи с изложенным, целью нашей работы определено изучение биоразнообразия цианобактерий и водорослей фототрофного планктона и бентоса, а также влияния на них различных факторов и оценка состояния экосистем различных створов некоторых малых рек бассейна реки Урал в пределах Российской Федерации по материалам 2023 г.

Материал и методы

В ходе полевых изысканий пробы были отобраны в верховьях р. Урал (300 м выше д. Рысаево и в 2,5 км севернее д. Уразово), а также на малых реках – притоках р. Урал: рр. Безьямный, Бирся, Малый Кизил, Янгелька, Карагайлы, Худолаз, Таналык, Бузавлык и Блява. В местах отбора проб измеряли температуру воды, глубину, определяли тип донных отложений, а также прозрачность воды по диску Секки.

Пробы фототрофного планктона отбирались батометром Рутнера на глубине 1,0 м. Часть пробы фиксировали 4% раствором формалина, часть – изучали в живом виде. Фиксированные пробы отстаивали в течение 14 дней в неподвижном состоянии в затененном месте. За указанное время подавляющая часть цианобактерий и водорослей осаждалась на дно сосуда. После осаждения пробы концентрировали путем сливания среднего слоя при помощи сифона. Полученный сконцентрированный материал подвергался микроскопированию (Водоросли, 1989).

Пробы фитобентоса отбирали с помощью скребка. Часть пробы фиксировали 4% раствором формалина, часть – изучали в живом виде. Выявление видового состава цианобактерий и водорослей в пробах проводили в лаборатории прямым микроскопированием и после культивирования образцов в жидкой минеральной среде № 6 с добавлением силиката натрия (Громов, 1965). Цианобактерии и водоросли культивировали в люминостате при освещенности 2500-3000 лк и комнатной температуре. Для более полного выявления видового состава культуры периодически просматривали.

При идентификации цианобактерий и водорослей использовали ряд определителей: (Голлербах и др., 1953; Забелина и др., 1951; Паламарь-Мордвинцева, 1982; Рундина, 1998; Царенко, 1990; Komárek, Fott, 1983; Komárek, Anagnostidis, 2005; Krammer, Lange-Bertalot, 1986; 1988; 1991a; 1991b). Обилие цианобактерий и водорослей оценивали по 7-балльной шкале. Частоту встречаемости видов (F) рассчитывали по формуле:

$$F = a/A \cdot 100\% , \text{ где:}$$

a – число образцов, в которых обнаружен вид, A – общее число исследованных образцов (Кузяхметов, Дубовик, 2001).

Сапробиологический анализ проведен на основе данных экологической картотеки видов водорослей. Индекс сапробности по Пантле-Букк (Барина и др., 2006) рассчитывали по формуле:

$$S = \frac{\sum s \cdot h}{\sum h} , \text{ где:}$$

S – индекс сапробности;

s – индикаторная значимость вида;

h – относительная встречаемость вида, определяемая по 7-балльной шкале.

Взаимосвязь классов качества воды и индексов сапробности S с зонами самоочищения в водных экосистемах представлена в табл. 1.

Таблица 1

Взаимосвязь классов качества воды и индексов сапробности S с зонами самоочищения в водных экосистемах

Класс качества воды	Зона самоочищения	Индекс сапробности S	Качество воды
I	Ксеносапробная	0–0,5	Очень чистая
II	Олигосапробная	0,5–1,5	Чистая
III	Бета-мезосапробная	1,5–2,5	Удовлетворительной чистоты
IV	Альфамезосапробная	2,5–3,5	Загрязненная
V	Полисапробная	3,5–4,0	Грязная
VI	Эусапробная	>4,0	Очень грязная

Также, для зон самоочищения по методу Пантле-Букк в модификации В. Сладечека (1973) используются индивидуальные индексы (S) каждой из групп сапробионтов, что позволяет более детально разделить группы индикаторных организмов по классам качества вод. Оценка качества воды по методу Ватанабе проведена на основе данных экологической картотеки видов. Полученные данные были обработаны с помощью пакета программ Statistica 10.0 и Microsoft Excel.

Обсуждение результатов

Всего в составе фототрофного планктона и бентоса летом 2023 г. выявлено 67 видов цианобактерий и водорослей, относящихся к 4 отделам, 8 классам, 11 порядкам, 17 семействам и 38 родам. По числу видов среди отделов значительно доминировали диатомовые водоросли, среди семейств – представители Naviculaceae и Fragilariaceae.

По сумме баллов обилия доминировали виды *Cocconeis placentula* Ehrenberg (51 балл), *Achnanthes lanceolata* (Brébisson ex Kützing) Grunow. (48 баллов), *Navicula dicephala* Ehrenberg (45 баллов), *Nitzschia palea* Kutz. (44 балла) и *Amphora ovalis* (Kützing) Kützing (43 балла)

Наиболее часто встречались виды *Amphora ovalis*, *Navicula dicephala* и *Nitzschia palea* (F по 78,95 %).

В целом, выявленные биоразнообразие и таксономические показатели цианобактерий и водорослей фототрофного планктона и бентоса были обедненными. Хотя известно, что биоразнообразие цианобактерий и водорослей водотоков данного региона высоко (Ярушина и др., 2004). По-видимому, полученные нами результаты обусловлены антропогенным загрязнением данных участков исследованных водотоков.

Основными видами хозяйственной деятельности человека в исследуемом районе являются:

- сельское хозяйство (растениеводство, животноводство, сельское водопользование);
- городские поселения (урбанизированные ландшафты, водопользование);
- горнодобывающая промышленность (горно-обогатительные комбинаты, отвалы, карьеры и хвостохранилища, накопители сточных вод).

На изучаемой территории данные факторы распределены неравномерно, а в ряде районов и накладываются друг на друга, вызывая наиболее масштабные изменения в экологической ситуации.

По результатам наших исследований выявлена статистически значимая слабая корреляция числа видов с индексом сапробности ($p < 0,05$, коэффициент корреляции 0,42), а также статистически значимая слабая корреляция суммы баллов обилия видов с индексом сапробности ($p < 0,05$, коэффициент корреляции 0,43). Таким образом, в изученных створах повышение сапробности слабо влияет на видовое разнообразие цианобактерий и водорослей и обилие видов. Это может говорить, что на местах наблюдения сформировалось устойчивое сообщество, слабо зависящее от уровня сапробности.

По большинству створов наблюдений было выявлено от 13 до 24 индикаторных видов. Рассчитанный индекс сапробности при этом колебался от 1,54 до 1,94, что позволяет отнести данные участки к β -мезосапробным, т.е. умеренно загрязненным (III класс качества).

Среди исследованных створов выделяется р. Таналык, 3-3,5 км северо-восточнее от г. Баймак с 10 индикаторными видами, что составляет 90,9% от общего числа видов в пробе. Это единственная проба, представленная в основном олиго-сапробионтами. Индекс сапробности (1,30) позволяет отнести данный створ реки к II классу чистоты воды и олигосапробной зоне, что говорит о его относительной чистоте.

Наиболее экологически неблагополучными являются три других створа. На р. Карагайлы в с. Калинино выявлено всего лишь 2 индикаторных вида, что составляет 100% от общего числа видов в пробе. Индекс сапробности рассчитать не удалось в связи с отсутствием достаточного количества индикаторных видов цианобактерий и водорослей, что связано с очень высокой антропогенной нагрузкой на водоток.

На р. Блява, 50 м ниже моста, г. Медногорск, выше сброса сточных вод выявлено 7 индикаторных видов, что составляет 87,5% от общего числа видов в пробе. Проба представлена в основном олиго-альфа- и олиго-бета-мезосапробионтами. Индекс сапробности (1,64) позволяет отнести данный створ водоема к III классу качества воды (бета-мезосапробный).

На р. Блява, с. Блявтамак, ниже места сброса стоков также выявлено 7 индикаторных видов, что составляет 87,5% от общего числа видов в пробе. Проба представлена в основном олиго-альфа- и олиго-бета-мезосапробионтами. Индекс сапробности (1,54) позволяет отнести данный створ водотока к III классу качества воды (бета-мезосапробный).

Анализ уровня сапробности в исследованных створах реки Блява также показывает стабильно низкое видовое разнообразие, что в целом говорит о высоком уровне загрязненности водотока. Об этом также свидетельствуют и выявленные в данных двух створах аномальные формы диатомовой водоросли *Nitzschia sp.* с искривленным панцирем. Известно, что такие тератологические формы могут образовываться в местах с повышенной антропогенной нагрузкой в результате повышения концентрации некоторых загрязняющих веществ (Митрофанова, Третьякова, 2013) и указывают на неблагоприятные условия. В нашем случае, вероятнее всего, это связано с высоким содержанием меди, обнаруженным в результате проведенного химического анализа. Особенно велика её концентрация оказалась в донных отложениях (28890 ± 7224 мг/кг).

Анализ связи между уровнем загрязненности водотоков основными загрязнителями показал, что наибольшее влияние на повышение уровня сапробности оказывает рост концентрации нитратов и фосфатов, что приводит как к увеличению видового разнообразия цианобактериально-водорослевых ценозов, так и к увеличению баллов их обилия. Сильное повышение концентрации тяжелых металлов, наоборот, оказывает подавляющий эффект, при котором даже при повышении концентрации нитратов и фосфатов происходит снижение уровня сапробности, числа видов и баллов обилия, что указывает на токсический эффект, угнетающий развитие цианобактериально-водорослевых ценозов. В целом, на исследованных водотоках четко прослеживается ухудшение ситуации на участках ниже по течению мест сброса сточных вод, в сравнении с выше расположенными фоновыми участками.

Выводы

В исследованных водотоках выявлены сообщества цианобактерий и водорослей, характеризующиеся низким видовым разнообразием, что связано с высокой антропогенной нагрузкой (сельское хозяйство, урбанизация, горнодобывающая промышленность).

Большинство исследованных створов относятся к β -мезосапробной зоне (III класс качества), кроме относительно чистого участка р. Таналык (олигосапробные условия, II класс качества вод). Наиболее загрязнённые участки (р.р. Блява, Карагайлы) характеризуются крайне низким видовым разнообразием и наличием аномальных форм водорослей вследствие токсического воздействия тяжёлых металлов.

Повышение концентрации нитратов и фосфатов увеличивает видовое разнообразие цианобактерий и водорослей, тогда как тяжёлые металлы (особенно медь) подавляют их развитие. Наибольшее ухудшение условий отмечено ниже точек сброса сточных вод.

Присутствует необходимость организации систематического мониторинга экологического состояния рек бассейна р. Урал, а также принятия комплексных мер по его экологической реабилитации с учётом состояния как природно-аквальных комплексов самих водотоков, так и природно-территориальных комплексов их водосборов.

Библиографический список

1. Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив, 2006. 500 с.
2. Биоиндикация экологического состояния равнинных рек / под ред. О.В. Бухарина, Г.С. Розерберга. М.: Наука, 2007. 403 с.
3. Водоросли. Справочник / Вассер С.П., Кондратьева Н.В., Масюк Н.П. и др. Киев: Наук. думка, 1989. 608 с.
4. Гареев А.М. Оптимизация водоохраных мероприятий в бассейне реки (географо-экологический аспект). СПб: Гидрометеоздат, 1995. 190 с.
5. Гареев А.М. Реки, озера и болотные комплексы Республики Башкортостан. Уфа: АН РБ, Гилем, 2012. 248 с.
6. Гареев А.М. Охрана вод суши. Уфа: РИЦ БашГУ, 2021. 336 с.
7. Гареев А.М. Научно-методические основы оптимального зарегулирования стока малых рек (на примере бассейна р. Урал в пределах Российской Федерации). Уфа: РИЦ УУНиТ, 2023. 200 с.
8. Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 2. Синезеленые водоросли. М.: Советская наука, 1953. 654 с.
9. Громов Б.В. Коллекция культур водорослей Биологического института Ленинградского университета // Тр. Петергоф. биол. ин-та ЛГУ. 1965. Т. 19. С. 125-139.
10. Забелина М.М., Киселев И.А., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова В.С. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 4. Диатомовые водоросли. М.: Сов. наука, 1951. 620 с.
11. Кузяхметов Г. Г., Дубовик И. Е. Методы изучения почвенных водорослей. Уфа, 2001. 56 с.
12. Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Биологическое разнообразие и принципы его сохранения. Уфа: РИО БашГУ, 2004. 124 с.
13. Митрофанова Е.Ю., Третьякова Е.И. Тератологические формы диатомовых водорослей в альгофлоре Телецкого озера (Русский Алтай) // Вода: химия и экология. №10. 2013. С. 112-119.
14. Паламарь-Мордвинцева Г. М. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 11 (2). Зеленые водоросли. Класс Конъюгаты. Порядок Десмидиевые. Л.: Наука, 1982. 622 с.
15. Рундина Л.А. Зигнемовые водоросли России (Chlorophyta: Zygnematales). СПб.: Наука, 1998. 346 с.
16. Царенко П.М. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР. Киев: Наукова думка, 1990. 208 с.
17. Ярушина М.И., Танаева Г.В., Еремкина Т.В. Флора водорослей водоемов Челябинской области. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 308 с.
18. Komárek J., Fott B. Chlorophyceae (Grünalgen): Chlorococcales // Binnengewässer. 1983. Bd. 16. V. 7. No 1. 1044 s.
19. Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota. II. Oscillatoriales // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 19 (2). Jena; Stuttgart; Lübeck; Ulm. 2005. 759 p.
20. Krammer K., Lange-Bertalot H. Süßwasserflora von Mitteleuropa / Bd. 2. Bacillariophyceae. T. 1. Naviculaceae. Jena: Gustav Fischer Verl. 1986. 876 s.
21. Krammer K., Lange-Bertalot H. Süßwasserflora von Mitteleuropa / Bd. 2. Bacillariophyceae. T. 2. Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. Jena: Gustav Fischer Verl. 1988. 596 s.
22. Krammer K., Lange-Bertalot H. Süßwasserflora von Mitteleuropa / Bd. 2. Bacillariophyceae. T. 3. Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Jena: Gustav Fischer Verl., 1991a. 577 s.
23. Krammer K., Lange-Bertalot H. Süßwasserflora von Mitteleuropa / Bd. 2. Bacillariophyceae. T. 4. Achnantheaceae. Jena: Gustav Fischer Verl., 1991b. 434 s.
24. Sládeček V. System of water quality from the biological point of view. Archiv für Hydrobiologie - Beiheft: Ergebnisse der Limnologie 7. Stuttgart, 1973. 218 s.

РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ПО ВОДНОМУ РЕЖИМУ РЕК ²

Аннотация. Пространственное распределение естественного водного режима отражает региональные и зональные особенности формирования стока. Характер питания рек, обуславливаемый климатическими факторами стока, является определяющим внутригодовой ход его изменений и общую водоносность рек, обуславливая географические закономерности распределения водного режима рек и его классификацию.

Ключевые слова: русловые процессы, водоносность, гидрологический режим, формирование стока, межень, половодье

ZONING OF THE TERRITORY OF RUSSIA BY THE WATER REGIME OF RIVERS

Abstract. The spatial distribution of the natural water regime reflects regional and zonal characteristics of runoff formation. The nature of river recharge, determined by climatic factors affecting runoff, determines the annual course of its changes and the overall flow rate of rivers, determining the geographical patterns of river water regime distribution and its classification.

Keywords: channel processes, flow rate, hydrological regime, runoff formation, low water, flood

Введение. Районирование территории по гидрологическим условиям руслоформирования (водному режиму) связано не только с широтным положением территории, но и с учетом высотной поясности (для рек, протекающих в предгорных и горных районах). С увеличением высоты водосборного бассейна растет общее увлажнение территории, мощность снежного покрова, сдвигаются даты снеготаяния. Половодье горных рек, как правило, растянуто и сдвинуто на более поздние сроки, обуславливая большую естественную зарегулированность стока, что оказывает влияние на особенности руслоформирующей деятельности рек. Наличие в пределах бассейна ледников и высокогорных снегов большой мощности и с более поздними сроками таяния определяет повышение уровней воды (или второй пик половодья) во второй половине летнего периода.

По морфогенетической классификации водного режима выделяется две основные группы рек: первая – реки, получающие питание тальми водами; вторая – реки, характеризующиеся питанием дождевыми паводками в любое время года в соответствии с местными сезонными особенностями выпадения осадков. Эта группа рек разрозненно приурочена к южным регионам страны и подразделяется на типы в зависимости от времени прохождения относительно многоводных паводков.

Подавляющую часть территории страны занимают реки, имеющие снеговое питание (тальми водами). Их главная особенность заключается в наличии зимней межени (или, по крайней мере относительно маловодного периода в холодное время года), связанной с прекращением поступления поверхностного притока воды. По характеру многоводной фазы выделяются районы с реками (табл. 1): 1) имеющими весеннее и весенне-летнее половодье (преимущественно снеговое питание, а также дождевое и подземное, степень значимости которых изменяется в зависимости от местных ландшафтно-климатических условий); 2) дождевые паводки теплого периода (преимущественно дождевое питание); 3) летнее половодье (снеговое питание, а также ледниковое, дождевое и подземное). Дифференциация водного режима осуществляется также по характеру летне-осенней межени, различающейся по степени нарушенности паводками. Она может быть: устойчивой; устойчивой, с эпизодическими паводками; прерывистой; прерывистой, с паводками, достигающими по высоте весеннее половодье. Паводочный период можно в свою очередь разделить на три вида: А – с водностью примерно равной весеннему половодью; Б – с водностью, превышающей таковую весеннего половодья; В – являющийся единственным относительно многоводным периодом, на фоне которого половодье слабо выражено. Зимняя межень подразделяется также на несколько видов: устойчивая; устойчивая, прерываемая оттепелями и соответствующими им паводками; устойчивая, в отдельные годы прерывистая; прерывистая, в отдельные годы устойчивая; неустойчивая, с дождевыми паводками.

В более общем виде данная классификация может быть соотнесена с классификацией рек по водному режиму Б.Д. Зайкова [1946], выделившего три крупные группы: реки с весенним половодьем, реки с половодьем в теплую часть года, реки с паводочным режимом. У рек первой и второй групп период с повышенным расходом наблюдается ежегодно и приходится на весну или в целом на теплую часть года. Реки

²Выполнено по плану НИР (ГЗ) кафедры гидрологии суши и научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова при финансовой поддержке РФФИ (проект 23-17-00065)

третьей группы характеризуются паводками, носящими систематический характер. К наиболее распространенной в пределах России первой группе относятся реки с *казахстанским* (резкая и высокая волна половодья весной, малый сток в остальную часть года), *восточно-европейским* (высокое весеннее половодье, низкая летняя и зимняя межень, повышенный сток осенью вследствие дождевых паводков), *западно-сибирским* (невысокое растянутое весенне-летнее половодье и повышенный летне-осенний сток), *восточно-сибирским* (высокое половодье, летне-осенние паводки, низкая зимняя межень), и, наконец, *алтайский типом* (невысокое растянутое весеннее половодье, повышенный летний сток и низкая зимняя межень) водного режима. Реки второй группы (с половодьем в теплую часть года) приурочены в основном к высокогорным областям Кавказа и Дальнему Востоку. *Дальневосточный* тип водного режима характеризуется невысоким растянутым гребенчатым летним дождевым половодьем и низким стоком в холодную часть года. Наконец, реки с паводочным режимом протекают в основном в горных и предгорных районах Крыма, Кавказа, Черноморского побережья. Последние имеют паводки в течение всего года, обусловленные осадками ливневого характера в их бассейнах, и относятся собственно к *черноморскому* типу. Реки *крымского* типа характеризуются повышенным стоком в зимний период и крайне низкими уровнями (вплоть до полного пересыхания) в летний период. Реки *северокавказского* типа характеризуются паводками в теплую часть года, в то время как зимой сток понижен.

Сочетание характеров стока летне-осеннего и зимнего периодов дает разновидности водных режимов рек (табл. 1)

Таблица 1

Основные разновидности водного режима рек, получающих питание талыми водами*

Питание рек	Преимущественно <i>снеговое</i> , дождевое и подземное				Преимущественно <i>дождевое</i> , снеговое и подземное			Преимущественно <i>снеговое</i> , ледниковое, подземное и дождевое
	Весеннее (весенне-летнее) половодье				Дождевые паводки теплого периода			
Характерная многоводная фаза	Межень				Паводочный период			Летнее половодье и осенний спад водности
Характер летне-осеннего периода	а	б	в	г	А	Б	В	
Выраженность характерной фазы летне-осеннего периода.	а	б	в	г	А	Б	В	—
Характер зимней межени	1 (5)	2 (6)	3 (7)	4 (8)	9	10	11	12
	13	14	15	-	-	-	-	
	16 (23)	17 (20)	18 (21)					
	23	24	25					
	26							

* *Характер летне-осенней межени*: устойчивая (а); устойчивая, с эпизодическими паводками (б); прерывистая (в); прерывистая, с паводками, достигающими по высоте весеннее половодье. *Характер паводочного периода*: с водностью, примерно равной весеннему половодью (А); с водностью, превышающей водность весеннего половодья (Б); являющийся единственным многоводным периодом на фоне слабо выраженного половодья (В). *Характер зимней межени*: устойчивая (а); устойчивая, в отдельные годы прерываемая паводками оттепелей (б); в отдельные годы прерывистая (в); прерывистая, в отдельные годы устойчивая (г); неустойчивая, с частыми дождевыми паводками (д). Цифры соответствуют обозначениям регионов на карте (рис.1).

Основную часть территории занимают реки с весенним половодьем, различающиеся по характеру зимней и летне-осенней межени. Наиболее выражен этот тип режима у рек Западной Сибири, центральных и восточных частей Русской равнины, для которых характерно весеннее половодье с устойчивой зимней и летне-осенней меженью (разновидности 1, 2, 13, 14 в табл. 1.1). Основное отличие разновидностей в пределах одного типа заключается в высоте подъема уровня воды и скорости спада половодья или паводка, а также продолжительности и выраженности меженного периода. К северным и северо-восточным регионам страны

приурочены реки с весенним половодьем, устойчивой зимней и прерывистой летне-осенней меженью. К ним относятся реки лесной зоны Русской равнины, Западной и Средней Сибири, кроме лесостепных районов на юге и Ангаро-Ленской физико-географической провинции (3, 4, 15). По западным и юго-западным районам Русской равнины протекают реки, имеющие весеннее половодье, зимнюю, прерываемую паводками во время оттепелей и летне-осеннюю межень, устойчивую с эпизодическими паводками или прерывистую (16, 17, 18, 24).

На значительной части территории России водный режим рек характеризуется хорошо выраженным паводочным летне-осенним периодом, весеннее половодье по расходам воды и суммарному стоку либо уступает дождевым паводкам, либо на их фоне слабо выражено: это реки Прибайкалья и Забайкалья, северо-востока Сибири, бассейна Амура, Саян, юга Средней Сибири (9, 10, 11). На востоке страны, включая островные территории преобладают реки с весенне-летним половодьем, устойчивой зимней и прерывистой летней меженью, иногда с интенсивными дождевыми паводками, соответствующими по подъему уровней весеннему половодью – реки Западной Камчатки, побережья Охотского моря (7, 8). Горные районы Кавказа характеризуются летним половодьем с осенним спадом и устойчивой зимней меженью (12).

Вне общей классификации оказываются пересыхающие малые реки засушливых районов и замерзающие реки Крайнего Севера и арктических островов, где эпизодически выделяется краткосрочный полноводный период (в теплое время года) на фоне практически полного отсутствия стока в остальное время года.

Особое место занимают крупнейшие реки с субмеридиональным направлением течения (Обь, Лена, Волга). Истоки Иртыша и Енисея также находятся в южных районах (за пределами России). Так как область питания верховьев этих рек занимает крайне малую площадь по отношению к площади бассейна в среднем и тем более в нижнем течении, то транзитность водного режима распространяется лишь на первые несколько сотен километров от истока. Наиболее важной особенностью верховьев этих рек являются летние паводки, прослеживающиеся вплоть до среднего течения, где (наряду с нижним течением) сказывается влияние притоков, а также регулирующее влияние обширных равнинных территорий бассейна, что формирует более растянутое половодье и устойчивую зимнюю межень.

Водный режим Оби и некоторых ее притоков (Бия, Катунь, Ануй, Чарыш, Томь, Чулым) тоже формируется не только на равнине, но и в горных условиях. Значительная увлажненность северных районов лесной зоны обуславливает высокую водоносность и зарегулированность стока в течение года, а недостаточная увлажненность южных районов – причина низкого стока и, главным образом, неравномерности его распределения. Верхняя Обь не зарегулирована, поэтому основные фазы водного режима, характерные для ландшафтно-климатических условий бассейна, хорошо выражены, в отличие от участка, расположенного ниже г. Новосибирска, где после строительства Новосибирской ГЭС (1957–1959 гг.) режим реки изменился, – отмечается заметное сокращение стока в весенний период и его увеличение в период зимней межени.

Обособленно в ряду транзитных рек стоят Волга, Кама и нижний Днепр. Вследствие создания на них каскада водохранилищ и перераспределении части стока в соседние бассейны здесь сформировался особый тип водного режима, искусственно регулируемый в зависимости от энергетических, транспортных и иных водохозяйственных потребностей. Большая часть стока видоизменена крупными водохранилищами, за исключением весеннего половодья. Регулирование стока способствует сглаживанию гидрографа – уменьшению пика половодья и паводков, однако возрастает неравномерность стока в меженный период.

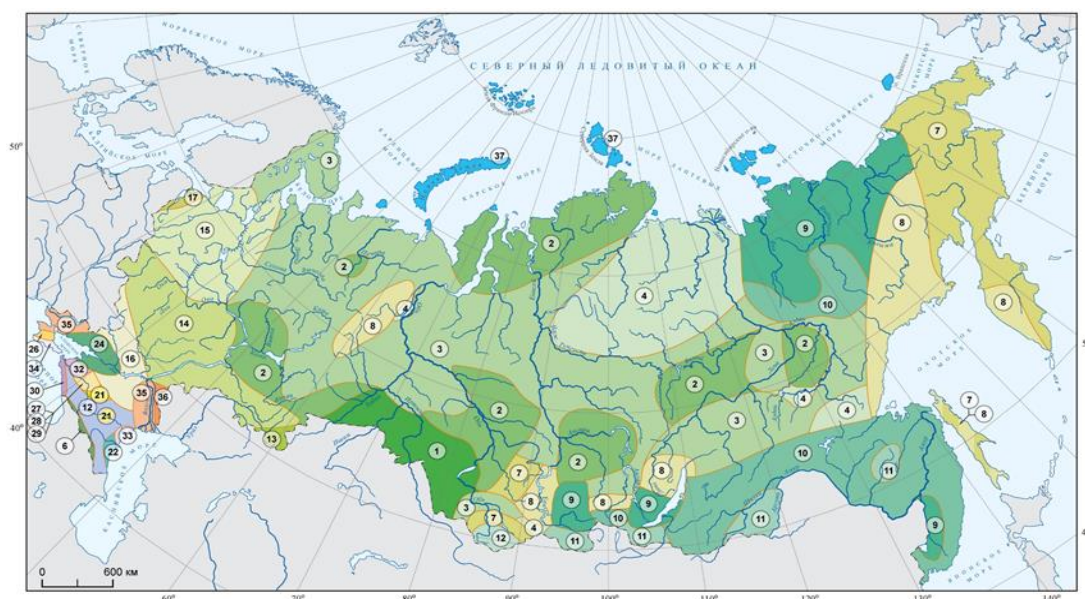


Рис. 1. Карта водных режимов рек России как факторов русловых процессов (номера районов в соответствии с табл. 2)

На основе проведенных исследований выполнено *районирование территории России по гидрологическим условиям руслоформирования* на реках (табл. 2) и с учетом дополнительно полученных новых данных составлена карта районирования территории по водному режиму рек как фактора русловых процессов.

Таблица 2

Районирование территории России по водному режиму рек

№**	Регион, бассейн, река	Особенности гидрологического режима
1	Реки Западной Сибири, центральных и восточных частей Русской равнины	Весеннее половодье с устойчивой летне-осенней и зимней меженью.
2	Реки Западной Сибири, центральных и восточных частей Русской равнины	Весеннее половодье с устойчивой летне-осенней с эпизодическими паводками и устойчивой зимней меженью.
3	Реки лесной зоны Русской равнины, Западной и Средней Сибири, Ангаро-Ленской физико-географическая провинция	Весеннее половодье с устойчивой зимней и прерывистой летне-осенней меженью.
4	Реки лесной зоны Русской равнины, Западной и Средней Сибири, Ангаро-Ленской физико-географической провинции	Весеннее половодье с устойчивой зимней и прерывистой летне-осенней меженью с паводками, достигающими по высоте весеннее половодье.
5	Реки Западной Сибири, центральных и восточных частей Русской равнины	Весеннее растянутое половодье с устойчивой летне-осенней и зимней меженью.
6	Реки Западной Сибири, центральных и восточных частей Русской равнины	Весеннее растянутое половодье с устойчивой с эпизодическими паводками летне-осенней и устойчивой зимней меженью.
7	Реки Камчатки, о. Сахалин, побережья Охотского моря	Весенне-летнее половодье, устойчивая зимняя и прерывистая летняя межень
8	Реки Камчатки, о. Сахалин, побережья Охотского моря	Весенне-летнее половодье, устойчивая зимняя и прерывистая летняя межень с паводками, достигающими по высоте максимума половодья
9	Реки Прибайкалья и Забайкалья, северо-восток Сибири, бассейна Амура, юга Средней Сибири	Весеннее половодье уступает дождевым паводкам, либо на их фоне слабо выражено
10	Реки Прибайкалья и Забайкалья, северо-востока Сибири, бассейн Амура, юг Средней Сибири	Весеннее половодье уступает дождевым паводкам
11	Реки Прибайкалья и Забайкалья, северо-востока Сибири, бассейна Амура, юга Средней Сибири	Паводочный период, наступающий после слабовыраженного половодья
12	Горные районы Кавказа	Летнее гребенчатое половодье и устойчивая зимняя межень
13	Реки Западной Сибири, центральный и восточных частей Русской равнины	Весеннее половодье с устойчивой летне-осенней и зимней меженью, изредка прерываемой паводками оттепелей
14	Реки Западной Сибири, центральный и восточных частей Русской равнины	Весеннее половодье с устойчивой летне-осенней с эпизодическими паводками и устойчивой зимней меженью.
15	Реки лесной зоны Русской равнины, Западной и Средней Сибири, Ангаро-Ленская физико-географическая провинция	Весеннее половодье с устойчивой зимней и прерывистой летне-осенней меженью.
16	Западные и юго-западные районы Русской равнины	Весеннее половодье, зимняя межень, прерываемая паводками, летне-осенняя межень с эпизодическими паводками
17	Западные и юго-западные районы Русской равнины	Весеннее половодье, зимняя межень, прерываемая паводками, прерывистая летне-осенняя межень с
18	Западные и юго-западные районы Русской равнины	Весеннее половодье, зимняя межень, прерываемая паводками, летне-осенняя межень с паводками, достигающими по высоте весеннее половодье
19	Юго-Восточная часть Узбекистана*	Весенне-летнее половодье, устойчивая летняя, устойчивая, в отдельные годы прерывистая зимняя межень.
20	Предкавказье	Весенне-летнее половодье, прерывистая летняя, устойчивая, в отдельные годы прерывистая зимняя межень.
21	Предкавказье, восток Краснодарского края	Весенне-летнее половодье, прерывистая летняя с паводками, достигающими по высоте половодье, устойчивая, в отдельные годы прерывистая зимняя межень.
22	Юг Дагестана	Дождевые паводки теплого периода, паводочный период, превышающий весенне-летнее половодье

23	Восточное побережье Азовского моря	Весенне-летнее половодье, устойчивая летняя, устойчивая, в отдельные годы прерывистая, в отдельные годы прерывистая зимняя межень.
24	Западные и юго-западные районы Русской равнины	Весеннее половодье, зимняя межень, прерываемая паводками, прерывистая летне-осенняя межень
26	Центральная часть Крыма	Весенне-летнее половодье, неустойчивая зимняя межень с дождевыми паводками
27	Реки Западного Предкавказья	Весенне-летнее половодье, неустойчивая зимняя межень с дождевыми паводками, достигающими по высоте половодье
28	Реки Западного Предкавказья	Дождевые паводки теплого периода с водностью равной весеннему половодью, с неустойчивой зимней меженью с дождевыми паводками
29	Западный Кавказ	Дождевые паводки теплого периода с водностью, превышающей весеннее половодье, с неустойчивой зимней меженью
30	Реки Черноморского побережья Кавказа	Дождевое и подземное питание, прохождение паводков в течение всего года
31	Реки восточной части Северного Кавказа	Дождевое и подземное питание, прохождение паводков преимущественно летом
32	Нижняя Кубань	Дождевое и подземное питание, прохождение паводков преимущественно осенью-зимой
33	Западное побережье Каспийского моря	Дождевое и подземное питание, прохождение паводков преимущественно весной и осенью
34	Южный берег Крыма	Дождевое и подземное питание, прохождение паводков преимущественно зимой и весной
35	Временные водотоки засушливых регионов	Кратковременное резкое повышение уровней в летний период, в остальное время отсутствие стока.
36	Бессточные области	Полное отсутствие стока в течение всего года
37	Арктические регионы	Временные водотоки арктических регионов, возникающие в летний период

*Регионы расположены за пределами территории Российской Федерации

Климатические условия бассейнов рек, регионов и природных зон, в которых расположены водосборы или которые пересекают транзитные реки определяют специфику водного режима и характер русловых процессов. Некоторые из факторов сказываются в развитии русел не напрямую, а опосредованно, через их воздействие на поток или грунты, слагающие русла рек. К одним из таких условий относится *ледовый режим* рек. Он оказывает заметное влияние на русловые процессы на реках, текущих субмеридионально с юга на север, и вообще на всех реках, где климатически обусловлен мощный ледяной покров. Одними из основных форм воздействия льда на русло является непосредственное разрушение глыбами льда дна и берегов русла, а также заторные явления. Последние возникают в местах сужения днища долин и русла, а также ниже впадения притоков (из-за несовпадения по времени ледохода), в узлах разветвлений, изгибов русла и на крутых излучинах. На р. Лене резкий подъем расходов и уровней воды, высокие скорости течения, а также значительная толщина льда способствуют ежегодному образованию заторов льда на перекатах и участках разветвлений русла, формирующихся на пике первой волны половодья. Образованию катастрофических заторов способствует сочетание значительной увлажненности водосбора реки осенью, большая толщина льда, интенсивное снеготаяние весной, избыточные осадки в период формирования половодья, а также резкий контраст температур воздуха в месте образования затора и в верховьях бассейна. В характерных местах заторы образуются ежегодно, время их существования может исчисляться как часами, так и несколькими сутками [Чалов, 2008]. Весенний ледоход и образование заторов на Лене оказывают воздействие на русло реки как за счет «вспахивания» движущимся льдом поверхности берегов и отмелей, так и за счет резкого (вплоть до экстремального) роста скоростей течения, например, при прорывах заторов.

Библиографический список

1. Зайков Б.Д. Средний сток и его распределение в году на территории СССР // Труды НИУГМС. – Л. – М. Серия IV, 1946. Вып. 38. – С. 3–173.
2. Русловой режим рек Северной Евразии. Под ред. Р.С. Чалова. М.: Изд-во МГУ, 1994. 336 с.
3. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 1. Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: Изд-во ЛКИ. 2008. 608 с.

В.С. Горячев,
гидролог мажсейдерской службы
акционерного общества «Дорожные и общестроительные работы»,
к-т геогр. наук, доцент,
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

О СОСТОЯНИИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ РЕКИ УРАЛ В БАШКОРТОСТАНЕ И МЕРОПРИЯТИЯХ ПО РАЦИОНАЛЬНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ИХ ВОД

Аннотация. Рассмотрены вопросы современного состояния использования водных ресурсов бассейна реки Урал в пределах Башкортостана. Дана оценка хозяйственной деятельности на качество вод реки Урал. Предложены мероприятия по рациональному использованию и реабилитации реки Урал.

Ключевые слова. Водосборный бассейн, урбанизированные территории, реабилитация, диффузное загрязнение, фоновый створ, рациональное водопользование.

ON THE STATE OF URAL RIVER WATER BODIES IN BASHKORTOSTAN AND MEASURES FOR THE RATIONAL USE OF THEIR WATERS

Abstract. The issues of the current state of water resources use in the Ural River basin within Bashkortostan are considered. The assessment of economic activity on the quality of the Ural River water is given. Measures for the rational use and rehabilitation of the Ural River are proposed.

Key words. Drainage basin, urbanized areas, rehabilitation, diffuse pollution, background section, rational water use.

Летом 2023 года по договору с институтом водных проблем РАН проведены научно-исследовательские работы по обоснованию предложений по экологической реабилитации, сохранению и восстановлению трансграничной р. Урал. Изучено современное состояние использования и охраны водных объектов и их ресурсов в Башкирской части Уральского бассейна и выработаны предложения по экологической реабилитации, сохранению и восстановлению трансграничной р. Урал.

В Башкирском Зауралье, где протекают реки бассейна реки Урал, отмечается самая низкая в Республике увлажненность, самое малое количество осадков за год. На всех притоках реки Урал, кроме реки Сакмара среднемесячные расходы в меженные периоды, даже в средний по водности год, составляют менее 1 м³/с.

Около 90% стока небольших зауральских рек приходится на короткий весенний период, а летом многие из них пересыхают, зимой перемерзают.

На количественные и качественные показатели стока р. Урал влияют современное водопользование из поверхностных и подземных вод, хозяйственная деятельность, осуществляемая в бассейне реки, загрязнения попадающие в бассейн реки через атмосферный перенос и ливневой поверхностный сток. Особенно сильно влияние на качество вод оказывает диффузные загрязнения от автотранспорта.

Многочисленные засухи и экстремальные паводки и половодья, связанные с происходящими изменениями климата, нарушили среднегодовую многолетнюю цикличность водных объектов. На возникновение экстремальных паводков сказалось массовое сведение лесов, регулирующих внутри сезонный сток, асфальтобетонные покрытия урбанизированных территорий и ряд других факторов.

В нарушенных природно-климатических условиях водопользование в Республике Башкортостан осуществляется как правило из зарегулированных поверхностных водных объектов и из подземных водных бассейнов.

Методы и методики исследования. Исследованием был охвачен бассейн реки Урал от истока до границ Башкортостана с Челябинской и Оренбургской областями. Использовались теоретические, эмпирические и математические методы исследований. В рамках исследования выполнен комплекс полевых и камеральных работ в соответствии утвержденной программой работ.

Анализ результатов. По состоянию на лето 2023 года водопользование в бассейне реки Урал в пределах республики Башкортостан осуществляли 109 водопользователей. Всего за 2022 год забрано из поверхностных и подземных источников 34,5млн. куб. м., в том числе из поверхностных 4,5 млн. куб. м. (14,4%). Большая часть природных вод используется на питьевые и хозяйственно-бытовые нужды – 1,9 млн. куб. м. (56,8%), соответственно на производственные нужды -1,1 (31,4%), на орошение -0,73 (2.1%) млн. куб. м. Сброшено сточных вод в поверхностные водные объекты 10,9 из них загрязненной 10,8. (99%) млн. куб. м., табл. 1.

Таблица 1

Промышленное водоснабжение из бассейна реки Урал в Башкортостане (составлено по данным 2 ТП Водхоз за 2022 год)

Вопользователи	Водный объект	Забрано воды, тыс. куб. м	Сброшено сточных вод, тыс. куб. м	Категория очистки
ООО «Завод Николь –Пак»	Ильтебановское вдхр. Объемом 4,95 млн. куб. м.	1220	В другой водный объект (бассейн р. Обь)	-
АО «Учалинский ГОК»	Озеро Б. Учалы. Площадь зеркала -3,06 квадр. км; объем воды-0,008 куб. м	633,96	В другой водный объект (бассейн р. Обь)	-
ОАО «Баймакский литейно-механический завод»	Пруд на р. Таналык Объемом 430 тыс. куб. м	19,6	Своего сброса не имеет	-
ООО «Башкирская медь»	шахтно- рудничные воды	2875,14	В р. Бузавлык (приток р. Таналык) 327,56	Недостаточно очищенные воды
АО «Бурибаевский горно обогатительный комбинат»	Река Таналык Шахтно-рудничные воды	36,36 693,5	В хвостохранилище комбината	-
ООО «ЛБ Минералс»	шахтно- рудничные воды	1110,33	Сброс в р. Худолаз	Недостаточно очищенные воды

Промышленное водопользование в Зауральской части Башкортостана осуществляют 6 предприятий. Общий объем водозабора из рек и шахтно-рудничных вод- 6,59 млн. куб. м, сброшено сточных вод в поверхностные водные объекты – 0,84 млн. куб. м. Коммунальное водопользование в Зауральской части Башкортостана осуществляют 8 предприятий, табл. 2.

Таблица 2

Коммунальное водоснабжение из бассейна реки Урал в Башкортостане (составлено по данным 2 ТП Водхоз за 2022 год)

Вопользователи	Водный объект	Забрано воды, тыс. куб. м	Сброшено сточных вод, тыс. куб. м	Категория очистки
МУП «Учалыводоканал»	Река Урал (пов. вод.) Подземные воды	2534,88	1567,98	Недостаточно-очищенные воды

ООО «Абзаково»	Река Мал. Кизил (пов. вод.) Подземные воды	124,76 100,92	95,01	Недостаточно-очищенные воды
ООО «Строительство и производство»	Река Мал. Кизил (пов. вод.)		35,43	Недостаточно-очищенные воды
ГУП санаторий «Яктыкуль»	Озеро Банное (пов. вод.) Объем воды 81,7 млн. куб. м.	160,75	-	-
ООО«Абзелилспецком обслуживание»	Река Каранелга (пов. вод.) Подземные воды	- 255,11	378,32	Недостаточно-очищенные воды
МУП «Аскар»	Река Идяш (пов. вод.) Подземные воды	- 229,91	114,31	Недостаточно-очищенные воды
ГУП «Сибайводоканал»	Река Карагайлы (пов. вод.) Подземные воды	- 2770,3	2136,75	Недостаточно-очищенные воды
МУП «Баймакский водоканал»	Река Таналык (пов. вод.) Подземные воды	711,74	244,0	Недостаточно-очищенные воды

Общий объем водозабора из: поверхностных вод – 285,51 тыс. куб. м; подземных вод – 6602,86 тыс. куб. м. Сброшено сточных вод в поверхностные водные объекты – 4571,8 тыс. куб. м.

Резюме: хотя и отдельные реки в бассейне р. Урала перемерзают в зимнее время, пересыхают в летнее, расчетные водохозяйственные балансы, составленные в СКИОВО Урала РОСНИИВХ (Схема..., 2014) не выявили дефицитов баланса водоснабжения.

По отдельным бассейновым участкам наблюдается высокое их использование до 40 процентов от минимального меженного стока.

Анализ сбросов сточных вод и выполненный при полевых работах отбор проб воды в местах влияния антропогенной деятельности выявил влияние хозяйственной деятельности на качество вод водных объектов в бассейне р. Урал. Существенное влияние выявлено нами при изучении сбросов сточных вод от стационарных источников хозяйственных объектов бассейна реки Урал.

Химические анализы проб воды проводились в сертифицированной лабораторией Филиала по мониторингу водных объектов рек Белой и Урала ФГБУ «Центрегионводхоз». Даже в фоновом своре у самого истока реки Урал на Безымянном притоке реки у села Бурангулово Учалинского района, по данным химического анализа отобранной 22 июля 2023 года пробы воды, выявлено увеличенное по сравнению с ПДК рыбохозяйственного водоема содержание марганца в 2,8; а железа в 8 раз. Это связано с естественным вымыванием элементов коренных пород металлической группы в горах Южного Урала и переносом загрязнения на территорию водосборной площади бассейна реки воздушными потоками.

При анализе проб воды реки Урал в районе влияния сброса сточных вод МУП "Учалыводоканал" выше д. Уразово МР Учалинский район РБ (это первый стационарный сброс от истока р. Урал) выявлено превышение ПДК (рыбохозяйственное) по меди и марганцу в 9 раз (0,009 мг/дм³), железу в 3 раза (0,028 мг/дм³). Из специфических загрязнителей Учалыводоканала фиксируются в реке Урал азотистые соединения нитрит – иона с превышением ПДК в 3 раза (0,24 мг/дм³).

Наиболее высокое загрязнение специфическими ингредиентами выявлено в водах реки Таналык у г. Баймак ниже сброса МУП «Баймакский водоканал». В проанализированной пробе отобранной воды из реки Таналык было выявлено превышение по: аммоний -ионам в 5,2 раза (2,6 мг/дм³); нитрит-ионам в 5,25 раз (0,42 мг/дм³); концентрация сухого остатка в 1,5 раза (534 мг/дм³). Выше по течению р. Таналык перед городом Баймак вне зоны влияния коммунальных и промышленных объектов города, качество воды реки по этим показателям не превышают ПДК (рыбхоз).

Река Карагайлы в створе с. Калинино ниже сброса ГУП РБ «Сибайводоканал» загрязнена специфическими ингредиентами от сбросов сточных вод водоканала: фосфат – ион в 3,75 раз (0,74 мг/дм³); сухой остаток в 4,5 раз (1652 мг/дм³).

Река Бузавлык ниже сброса ООО «Башкирская медь» загрязняется дополнительно солями меди почти

в 2 раза (0,032 мг/дм³). Створ выше по течению в 200-300 метрах ниже Бузавлыкского водохранилища показывает более низкую концентрацию меди 0,025 мг/дм³.

По результатам анализа проб воды реки Таналык у с. Бурибай, где размещено производство Бурибаевского горно-обогатительного комбината выявлено превышение специфических металлов в воде. Концентрация меди была выше ПДК почти в 2 раза, а по марганцу в 4 раза.

Выводы. В качестве мероприятий по рациональному водопользованию предлагается по коммунальным предприятиям Учальводоканал, Строительство и производство, Абзаково, Абзелилспецкомобслуживание -строительство системы доочистки сточных вод. Для: МУП "Аскар" предлагается реконструкция и расширение очистных сооружений с увеличением проектной мощности до 750 куб. м./сут; ГУП Сибайводоканал- строительство в г. Сибай системы очистных сооружений, канализации, производительностью 10500 м³ /сутки; МУП Баймакский Водоканал - реализация проекта реконструкции БОС.

По промышленным предприятиям предлагается: Башкирская медь- совершенствование технологий производства; Бурибаевский ГОК- организовать мониторинг наблюдений, за подземными водами, провести исследования влияния комбината на качество вод р. Таналык.

Библиографический список

1. Данные лабораторного анализа выполнение Филиалом по мониторингу водных объектов рек Белой и Урала ФГБУ «Центрегионводхоз».
2. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Урал (Российская часть) Утверждена приказом Нижне – Волжского БВУ от 01.04. 2014 г. № 65. <http://www.nvbu.ru/media/files-folder/8197> (03.02.2026)
3. Фондовые данные 2 ТП Водхоз Филиала по мониторингу водных объектов рек Белой и Урала ФГБУ «Центрегионводхоз».

© Горячев В.С., 2026

УДК 556.113.3

А.А. Землянкова,
Государственный гидрологический институт, г. Санкт-Петербург
А.Н. Шихов,
Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЗОЛОТОДОБЫЧИ НА МУТНОСТЬ РЕК МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация. На основе анализа снимков Sentinel-2 с применением модуля C2RCC Processor исследованы пространственные закономерности распределения взвешенных веществ в реках Сусуманского и Тенькинского районов Магаданской области. Установлено, что основным источником поступления взвешенных веществ являются разрабатываемые россыпные месторождения золота. Показано, что повышенные по сравнению с фоновыми значениями мутности сохраняются на значительном протяжении русловой сети - вплоть до Колымского водохранилища, то есть почти на 200 км от источника загрязнения, при этом расчетные концентрации взвешенных веществ ниже по течению возрастают в 2–16 раз. Выявлено, что сезонная изменчивость мутности определяется гидрологическими условиями: в период межени ее значения снижаются, а в фазы высоких уровней воды возрастают. Полученные результаты подтверждают перспективность использования спутниковых данных для мониторинга состояния водных объектов региона, оценки масштабов техногенного воздействия и обоснования дальнейших полевых исследований, направленных на верификацию расчетных значений TSM и расширение наблюдений на другие районы Магаданской области.

Ключевые слова. мутность, TSM, взвешенные вещества, Магаданская область, добыча золота.

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF GOLD MINING ON THE TURBIDITY OF RIVERS IN THE MAGADAN REGION

Annotation. Based on the analysis of Sentinel-2 images using the C2RCC Processor module, spatial patterns of the distribution of suspended substances in the rivers of the Susumansky and Tenkinsky districts of the Magadan region have been studied. It has been established that the main source of suspended substances is the developed placer gold deposits. It is shown that turbidity values increased compared to background values persist for a significant length of the riverbed network - up to the Kolyma reservoir, that is, almost 200 km from the source of pollution, while the calculated concentrations of suspended substances downstream increase by 2-16 times. It has been revealed that the seasonal variability of turbidity is determined by hydrological conditions: during the autumn period, its values

decrease, and during the phases of high-water levels they increase. The results obtained confirm the prospects of using satellite data to monitor the state of the region's water bodies, assess the extent of man-made impacts, and justify further field research aimed at verifying the calculated the amount of suspended substances values and expanding observations to other areas of the Magadan Region.

Key words. Turbidity, TSM, suspended substances, Magadan region, placer gold mining.

Магаданская область занимает первое место в России по добыче россыпного золота (Добыча..., 2022). Объем добычи увеличился с 14,5 т. в 2013 г. до 19,8 т. в 2021 г., что ведет к обострению существующих экологических проблем. При добыче в реки поступают большие объёмы взвешенных веществ, которые распространяются вниз по течению на десятки и даже сотни километров от участков работы драг в руслах и поймах. В труднодоступных районах выявление загрязнения водотоков и оценка его масштабов возможны по спутниковым снимкам (Чупаченко, 2020). Мониторинг таких нарушений наземными методами ограничен из-за редкой сети гидропостов, на большинстве из которых не выполняются измерения мутности воды.

Высокая мутность воды, которая обусловлена поступлением взвешенных веществ, является одним из основных признаков загрязнения рек при добыче полезных ископаемых. Увеличение концентрации взвеси приводит к росту яркости водной поверхности в видимом диапазоне, что позволяет выявлять такие нарушения по спутниковым снимкам. Связь между коэффициентами спектральной яркости и концентрацией взвешенных веществ (Total Suspended Matter, TSM) была показана ещё в первых работах 1970-х гг. (Ritchie et al., 1976; Лабутина, Сафьянов, 1980). Для оценки TSM по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) применяются регрессионные, физически обоснованные и нейросетевые методы, однако простые регрессионные модели обычно требуют отдельной калибровки для каждого водотока.

В качестве района исследования процессов формирования мутности поверхностных вод выбрана территория Магаданской области, характеризующаяся сложными природно-климатическими условиями, значительной гидрологической неоднородностью и активным воздействием природных и антропогенных факторов на состояние водных объектов. В работе в качестве ключевых объектов исследования рассмотрены реки Аян-Юрях и Берелёх, а также Колымское водохранилище, представляющие интерес с точки зрения пространственно-временной изменчивости показателей мутности воды. Выбор указанных водных объектов обусловлен их гидрологическим значением для региона, различиями в условиях водосбора и особенностями поступления взвешенных веществ, определяющих уровень мутности.

В данной работе для расчёта TSM использован модуль The Case 2 Regional Coast Color Processor (C2RCC Processor, Brockmann et al., 2016) в пакете ESA SNAP 8.0. Алгоритм основан на моделировании переноса излучения и применении нейронных сетей для восстановления характеристик поверхностных вод по спутниковым данным после атмосферной коррекции. Расчёты выполнены с использованием набора C2RCC-nets; в результате получены значения TSM и их неопределённости для каждого пикселя водной поверхности с пространственным разрешением 20 м.

При расчете TSM в модуле C2RCC Processor необходимо задать значения ряда параметров. Большинство из них были приняты по умолчанию, за исключением солёности (задана равной 0.01 ppm), высоты местности (400 м над уровнем моря, что близко к урзу Колымского водохранилища), атмосферного давления, приведенного к уровню моря (1010 гПа) и температуры воды (задано значение 5 °С).

Расчёты выполнены по 27 сценам Sentinel-2, относящимся к двум ячейкам глобальной сетки - T55VEK и T55VEJ, охватывающим исследуемый участок от г. Сусуман до Колымского водохранилища. В анализ включены снимки за период функционирования системы Sentinel-2 - с 2016 по 2021 гг. Диапазон дат съёмки составил от 18 июня до 12 сентября. Наибольшее число пригодных для анализа сцен получено в 2021 г. при относительно благоприятной облачности: на этот год приходится 12 из 27 использованных изображений.

Для анализа временной изменчивости мутности воды выделены 10 тестовых полигонов в руслах рек Берелех, Аян-Юрях и Колыма, а также на участке Колымского водохранилища. Полигоны расположены выше и ниже источников загрязнения либо мест впадения загрязнённых притоков; их площадь варьирует от 18 до 473 тыс. м². Для каждого участка по спутниковым снимкам рассчитаны средние значения TSM.

Для оценки пространственного изменения мутности вниз по течению от основного источника загрязнения построен продольный профиль вдоль рек Берелех, Аян-Юрях и Колыма - от г. Сусуман до Колымского водохранилища. Профиль включает 22 точки, расположенные с шагом 10 км.

По данным анализа спутниковых снимков Sentinel-2 за 2016–2021 гг. установлено, что в настоящее время главным источником загрязнения рек Сусуманского района являются разрабатываемые россыпные месторождения золота в пойме р. Берелёх. В Тенькинском районе горные работы ведутся в пойме р. Омчак, однако из-за небольшой ширины русла оценка мутности по снимкам с пространственным разрешением 20 м не представляется возможной, поэтому данный водоток в анализ не включался. Наиболее крупный очаг загрязнения расположен в 10–15 км выше впадения р. Берелёх в р. Аян-Юрях. В месте слияния рек фиксируется резкий контраст мутности воды. Далее загрязнённые воды распространяются вниз по течению р. Аян-Юрях и Колымы до Колымского водохранилища, на расстояние более 200 км (Рис.).

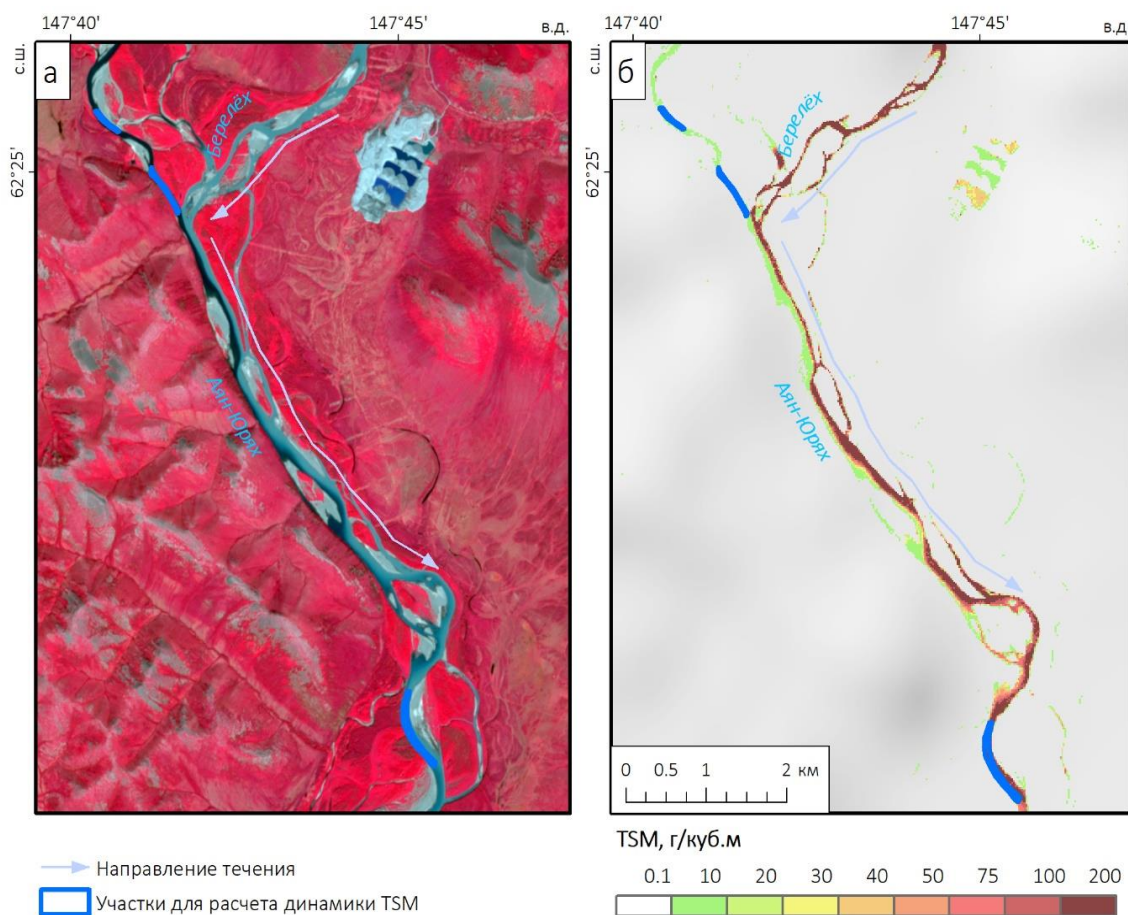


Рис. Фрагмент снимка Sentinel-2 за 19.07.2021 г. в комбинации каналов NIR-Red-Green на участок у слияния рек Аян-Юрях и Берелёх (а), и расчетные значения TSM в воде (б) (составлен автором).

В 2021 г. для исследуемой территории было получено 5 безоблачных снимков за период с конца июня по сентябрь. По данным этих съёмок содержание взвешенного вещества (TSM) в воде р. Аян-Юрях ниже устья загрязнённой р. Берелёх в 2–10 раз превышало значения, зафиксированные выше впадения данного притока. Максимальная концентрация TSM составила $115,4 \text{ г/м}^3$ 29 июня 2021 г. В то же время в 2017–2019 гг. мутность воды в р. Аян-Юрях выше и ниже устья р. Берелёх была сопоставимой. Это свидетельствует о существенном возрастании роли р. Берелёх как источника загрязнения именно в последние два года.

Резкое увеличение TSM также выявлено в месте слияния рек Аян-Юрях и Кулу, образующих р. Колыму: по разным датам съёмки значения возрастали в 1,7–16 раз. Данная закономерность сохранялась на протяжении всего периода наблюдений с 2016 г. Поскольку в пойме р. Кулу разработка россыпных месторождений не ведётся, мутность её вод может рассматриваться как фоновая.

По данным снимков Sentinel-2 за 2021 г. изменения мутности воды на участке от г. Сусуман до Колымского водохранилища в целом носили согласованный характер. Минимальные значения TSM во всех случаях фиксировались в районе г. Сусуман, выше основных источников загрязнения, тогда как максимальные - ниже по течению, вблизи слияния рек Аян-Юрях и Берелёх. Наиболее отчётливо этот максимум проявился 29.06.2021 г., когда были зафиксированы наибольшие значения TSM. Ниже по течению мутность уменьшалась вследствие разбавления водами р. Кулу. Исключением стала съёмка 12.09.2021 г.: максимум ниже источников загрязнения был выражен слабо, а наибольшее расчётное значение TSM 28 г/м^3 отмечено уже вблизи Колымского водохранилища, более чем в 100 км от источников загрязнения, что свидетельствует об их незначительном вкладе в общую мутность воды.

Значения TSM в загрязнённых реках характеризуются выраженной внутригодовой и межгодовой изменчивостью. Межгодовые колебания, вероятно, связаны с расширением площади разработок в пойме р. Берелёх, тогда как внутригодовая динамика определяется главным образом гидрологическим режимом: с увеличением расходов воды мутность возрастает. Сопоставление расчётных значений TSM с данными об уровнях воды на гидропосте р. Колыма – с. Оротук показало, что максимальные значения TSM наблюдаются в период спада весеннего половодья (29.06.2021). Минимальные значения приурочены к маловодным периодам июля, августа и сентября, однако 31 августа зафиксирован резкий рост мутности, совпавший с кратковременным подъёмом уровня воды, вызванным дождевыми осадками. При этом увеличение мутности

отмечается не только в загрязнённых водотоках, но и на фоновых участках выше впадения загрязнённых притоков.

Проведённое исследование показало, что использование снимков Sentinel-2 в сочетании с модулем C2RCC Processor позволяет эффективно выявлять пространственные закономерности распределения взвешенных веществ в речных водах и оценивать масштабы техногенного воздействия. Установлено, что основным источником загрязнения рек Сусуманского и Тенькинского районов взвешенными веществами являются разрабатываемые россыпные месторождения золота. Повышенные по сравнению с фоновыми значения мутности сохраняются на значительном протяжении русловой сети - вплоть до Колымского водохранилища, то есть почти на 200 км от источника загрязнения, а расчетные концентрации TSM ниже по течению возрастают в 2–16 раз. Выявлено, что сезонная изменчивость мутности определяется гидрологическими условиями: в период межени она снижается, а при высоких уровнях воды возрастает. Полученные результаты подтверждают перспективность спутникового мониторинга для оценки состояния водных объектов региона и могут служить основой для дальнейшей полевой верификации расчетных значений TSM и расширения исследований на другие районы Магаданской области.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №25-27-00630, <https://rscf.ru/project/25-27-00630/>.

Библиографический список

1. Добыча золота в Магаданской области [Сайт]. URL: <https://zolotodb.ru/article/11259> (дата обращения 01.03.2026).
2. Лабутина И.А., Сафьянов Г.А. Исследования распространения твердого стока рек по аэрокосмическим снимкам на примере Кодора и Селенги // Космическая съемка и тематическое картографирование. М., Изд-во Моск. ун-та, 1980. С. 118–125.
3. Чупаченко О.Н. Учебно-методическое пособие по проведению общественного мониторинга загрязнений рек при добыче россыпного золота с использованием космоснимков. М., Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2020. 36 с.
4. Brockmann C., Doerffer R., Peters M., Stelzer K., Embacher S., Ruescas A. Evolution of the C2RCC neural network for Sentinel 2 and 3 for the retrieval of ocean colour products in normal and extreme optically complex waters // European Space Agency, (Special Publication). 2016. V. 740. P. 54.
5. Ritchie J.C., Schiebe F.R., McHenry J.R. Remote sensing of suspended sediments in surface waters // Journal of the American Society of Photogrammetry, 1976. V. 42. P. 1539–1545.

© Землянская А.А., Шихов А.Н., 2026

УДК 556.51/54

А.А. Куракова,
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва
Е.Р. Чалова,
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва
Р.С. Чалов
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва

РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ НА РЕКАХ ТУНДРОВОЙ ЗОНЫ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Аннотация. В статье представлены результаты комплексного исследования морфодинамики русел рек Большеземельской и Малоземельской тундр, выполненного с использованием картографических и гидролого-морфологических методов. Получена тематическая карта русловых процессов для данной территории, которые ранее характеризовались лишь фрагментарными данными. Проанализированы условия формирования и динамики русел с учётом климатических и геолого-геоморфологических факторов, стока воды и наносов, сезонных и многолетних колебаний уровней и ледового режима. Особое внимание в статье уделено морфологическим типам русел и особенностям русловых деформаций. Обобщение полученных данных в картографической форме позволило выявить пространственные закономерности русловых процессов на исследуемой территории и оценить их интенсивность. Результаты исследования представляют практическую ценность для водохозяйственных и транспортных проектов, а также для понимания природных процессов освоения рек Арктической зоны.

Ключевые слова. Русловые процессы, меандрирование, разветвления, типы русла, картографирование

A.A. Kurakova,
Lomonosov Moscow State University, Moscow
E.R. Chalova,
Lomonosov Moscow State University, Moscow
R.S. Chalov
Lomonosov Moscow State University, Moscow

CHANNEL PROCESSES IN THE RIVERS OF THE TUNDRA ZONE OF THE EUROPEAN PART OF RUSSIA

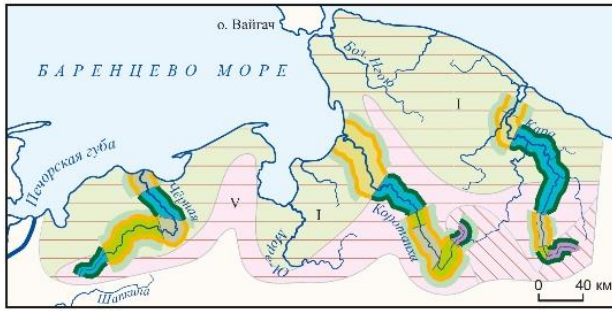
Abstract. This article presents the results of a comprehensive study of river channel morphodynamics in the Bolshezemelskaya and Malozemelskaya tundras, conducted using cartographic and hydrological-morphological methods. A thematic map of channel processes for this area, previously characterized only by fragmentary data, was obtained. The conditions of channel formation and dynamics are analyzed, taking into account climatic and geological-geomorphological factors, water and sediment runoff, seasonal and long-term fluctuations in water levels, and ice regime. Particular attention is paid to the morphological types of channels and the characteristics of channel deformations. Summarizing the obtained data in cartographic form made it possible to identify spatial patterns of channel processes in the study area and assess their intensity. The results of the study are of practical value for water management and transportation projects, as well as for understanding the natural processes involved in the development of Arctic rivers.

Key words. Channel processes, meandering, branching, channel types, mapping

Русловые процессы – природное явление, обусловленное взаимодействием руслового потока и грунтов, слагающих русло реки, а также эрозией, транспортом и аккумуляцией наносов, определяющих размывы дна и берегов, развитие различных форм русел и руслового рельефа, режим их сезонных, многолетних и вековых деформаций. Зачастую режим русел отличается высокой изменчивостью как по длине отдельных рек, так и в пределах речных бассейнов. Однако исследования русловых процессов обычно сосредоточены на больших реках, имеющих хозяйственное или транспортное значение, тогда как для бассейнов с преобладанием малых рек оценка таких процессов ограничена и носит общий или местный прикладной характер. В связи с появлением свободного доступа к космическим снимкам и расширением их базы, а также постоянной разработкой различных методов их ГИС-обработки происходит расширение подходов к изучению географии русловых процессов на основе составления специальных тематических карт, которые могут отражать основные факторы формирования русел рек и пойм, их морфологию и динамику как для отдельных рек, так и на целые бассейны или регионы. В настоящей статье рассматриваются русловые процессы на реках тундр на севере и северо-востоке ЕТР России, которые впервые представлены в виде тематической карты для данного бассейна.

Небольшие *реки Большеземельской тундры*, непосредственно впадающие в Баренцево и Карское моря, протекают по северо-восточной окраине Европейской части России (рис. 1). Их бассейны располагаются между западными склонами Полярного Урала и водоразделом с бассейном р. Печоры на юге и западе, в пределах приморских среднепересеченных равнин, рельеф которых создан среднеплейстоценовым оледенением, существенно переработанными флювиальными и склоновыми процессами, с максимальной высотой, редко превышающей 200 м, не считая хребта Пай-Хой, пересекающего восточную часть региона, и склонов Полярного Урала. Плоские приречные территории также не раз испытывали на себе воздействия недавних трансгрессий. Территория (за исключением гор) сложена отложениями морскими, озерными и аллювиальными четвертичными отложениями, а также валунными моренными суглинками (Воскресенский, 1968). Сами реки формируют свои русла среди морских и ледниково-морских песчаных и песчано-глинистых отложений (Русловой режим ..., 1994).

Рески Большеземельской тундры



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Районирование территории

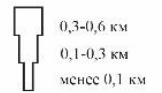
по геолого-геоморфологическим условиям формирования русел

- I районы свободного развития русловых деформаций (абсолютное преобладание широкопойменных русел: $B_n > 2-3b_p$ для средних и больших рек, $B_n > 6-7b_p$ для малых рек)
- V районы чередования свободного и ограниченного развития русловых деформаций на возвышенностях и равнинных территориях, сложенных пластичными грунтами

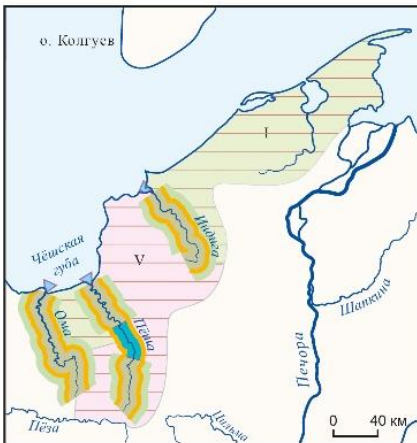
по гидравлическим условиям формирования русел

- равнинные реки
- ▨ полугорные реки
- ▤ горные реки

Ширина русел рек



Рески Малоземельской тундры



Морфологически однородные участки русел

Широкопойменные и адаптированные русла

- 1 пологие и развитые сегментные излучины (продольное смещение)
- 2 сегментные крутые, петлеобразные, синусоидальные и пальцеобразные излучины (поперечное и продольно-поперечное смещение)
- 4 вынужденные, вписанные и сундучные излучины
- 7 пойменно-русловые разветвления
- 12 врезанные русла
- 18 полугорные русла (специфические разновидности)
- 18 полугорные русла (без разделения на морфодинамические типы)

Размывы берегов рек

- Средние скорости размыва берегов, м/год
- менее 2
- неразмываемые

Руслообразующие наносы



Клювовидная дельта



Поймы рек

Относительная ширина поймы B_n/b_p



Типы поймы

- консолидированная пойма, не расчленённая пойменными протоками

Рис. 1. Карта русловых процессов на реках Большеземельской и Малоземельской тундр (составлен авторами)

В основном по территории протекают небольшие реки; наиболее крупные из них – Кара, Большой Нгою, Коротаиха и Черная. Первая берет свое начало на северо-западных склонах Полярного Урала от слиянии рек Большой и Малой Кары и течет преимущественно в северном направлении вдоль хребта Пай-Хой, впадая в Байдарацкую губу Карского моря. Длина р. Кары – 257 км, площадь бассейна – 13400 км². Основные притоки – малые реки Кома-Шор, Гнетъ-Ю, Лядгей-Яха, Нярма-Яха, Дарка-Шор, Сибирчата-Яха и другие. Река Коротаиха образуется слиянием рек Сядей-Ю и Тар-Ю на южных склонах хребта Пай-Хой, пересекает приморскую низменность Большеземельской тундры в северо-западном направлении и впадает в Хайпудырскую губу Баренцева моря. Длина реки – 199 км, площадь бассейна – 12,7 тыс. км². Бассейн реки сильно заозерен (крупнейшее – Лапта-Хасырей с площадью 2,6 км²). Основные притоки: левые – Падимей-Ты-Вис, Сава-Ю, Лабогей-Ю, Сарембой-Яга; правые – Хей-Яга, Юр-Яга, Янгарей. Реки Черная и Маре-Ю и их притоки берут начало на возвышенном водоразделе с притоками р. Печоры – Усы и Шапкиной, вследствие чего в верховьях их русла врезанные. Река Черная имеет длину 154 км и располагается в западной части приморской территории региона, меняя свое направление течения последовательно с северо-восточного на восточное и север-западное, и впадает непосредственно в Баренцево море.

Реки Большеземельской тундры относятся к восточноевропейскому типу водного режима, характеризующийся высоким весенним половодьем, низкой летней и зимней меженью и повышенным осенним стоком. Для всех рек характерно снеговое и дождевое питание. Все реки протекают в зоне вечной мерзлоты, зимой часто перемерзают, что оказывает существенное воздействие на водный и русловый режим рек.

Геологическое строение и рельеф Большеземельской тундры обуславливает преимущественное распространение равнинных рек и формирование в условиях свободного развития русловых деформаций широкопойменных русел. Только в верховьях рек Кары, Коротаихи и их притоков русла полугорные или даже горные, врезанные при пересечении ими отрогов Урала и Пай-Хоя, а р. Черной моренных холмов. Руслообразующие наносы на реках преимущественно песчаные, формирующие протяженные обширные песчаные отмели, сопоставимые с шириной межженного русла.

Ширина русла р. Кары в верхнем и среднем течении в основном до 150 м, в нижнем – до 300 м. Ширина русла р. Коротаихи изменяется от менее 100 м в верхнем течении до более 700 м в нижнем; на р. Черной – от 40 до 150 м, соответственно. В зимний период при глубине на перекатах не более 1-1,5 м происходит смерзание ледового покрова с дном рек, что обуславливает широкое распространение в русле многолетней мерзлоты. Вместе с мерзлотой на прирусловых отмелях, на пойме и на берегах это определяет

малые темпы русловых деформаций, поскольку половодье проходит до оттаивания верхних горизонтов мерзлых грунтов.

Поймы рек региона относительно неширокие, возрастая вниз по течению: чаще всего соотношение B_n/b_p составляет <5 (реже до 10), либо $B_n=b_p$; пойма отсутствует на участках с врезанным руслом. Рельеф поймы преимущественно сегментно-гравистый, только в нижнем течении, где реки разветвляются на рукава, – ложбинно-островной (Русловые..., 1990). Пойменные протоки расчленяют пойму только в низовьях рек, в верхнем и среднем течении они отсутствуют.

Преобладающий морфодинамический тип русел рек – меандрирующее (извилистое) русло, в котором излучины часто разделены короткими прямолинейными вставками, либо редкими одиночными разветвлениями. На р. Каре для широкопойменного русла характерны свободные сегментные и петлеобразные излучины; или подходе к бортам долины – адаптированные и вынужденные излучины. При пересечении хребта Пай-Хой и его отрогов в среднем течении русло врезанное, полугорное. В верховьях, где река протекает в горах Полярного Урала, русло горное. В приустьевой части, куда проникают приливы и нагоны, река сформировала раздвоенное русло длиной (по прямой от узла разветвлений до узла слияния рукавов 22 км. В его начале при слиянии с левым притоком (р. Сибирчатая-Яха), устье которого расположено в левом рукаве, в верхней части правого возникает реверсивное течение в зависимости от соотношения водности сливающихся рек в разные фазы водного режима. Рукава раздвоенного русла меандрируют, образуя пологие и развитые излучины, формируют одиночные, односторонние и сопряженные разветвления или прямолинейные неразветвленные участки. Выше этого притока и раздвоенного русла река меандрирует, в среднем течении образует врезанные излучины при пересечении хребта Пай-Хой и в верхнем течении снова меандрирует вплоть до развития свободных излучин полугорного русла или врезанных излучин горного в пределах Полярного Урала. В устье река впадает в узкий залив (эстуарий) Байдарацкой губы, формируя в нем небольшую дельту выполнения, разделяясь на два коротких рукава.

Для р. Коротайки характерно преобладание извилистого русла, образованное свободными – сегментными и петлеобразными – излучинами, и только в ограниченных условиях в среднем течении, где река пересекает отроги хребта Пай_Хой, – врезанными. Перед устьем река разветвляется и образует пойменно-русловое разветвление. На р. Черной также в зависимости от геолого-геоморфологических условий происходит чередование свободные и врезанных излучин (Русловые..., 1990). На реках свободные излучины меняют свою конфигурацию за счет как поперечного, так и продольного смещения в зависимости от степени развитости l/L , которая изменяется в диапазоне от 1,2 до 2,5; радиус кривизны (r) составляют от 0,2 до более 2 км.

Горизонтальные русловые деформации рек Большеземельской тундры не интенсивны (размывы берегов не более 2-3 м/год) ввиду повсеместного распространения многолетнемерзлых пород в русле.

Реки Малоземельской тундры пересекают ее низменную приморскую часть на Крайнем севере Европейской части России и впадают в Баренцево море (рис. 1). Территория их бассейнов располагается между бассейнами рек Печоры и Мезени в пределах слабохолмистой равнины, рельеф которой создан среднеплейстоценовым оледенением, и разделяется на восточную и западную части Тиманским кряжем. Наибольшая высота редко превышает 200 м. Реки протекают по плоской заболоченной равнине с моренными холмами, сложенными песчано-глинистыми отложениями морского и ледникового происхождения.

Наиболее крупные реки региона – Индига (к востоку от Тиманского кряжа), Пёша и Ома, впадающие в открытое Баренцево море. Реки текут с юга на север по сильно заболоченной и заозеренной тундре. Индига берет начало в предгорьях Тиманского. Длина реки – 193 км, площадь бассейна почти 3790 км². Крупнейший ее приток – р. Белая. Река Пёша берет начало в болотистой тундре. Длина реки – 257 км, площадь бассейна – 5060 км². Река Ома образуется при слиянии рек Худая и Черная Ома. Длина реки – 268 километров, площадь бассейна – 5050 км².

Реки Малоземельской тундры относятся к восточноевропейскому типу водного режима с высоким весенним половодьем, низкой летней и зимней меженью и повышенным стоком осенью. Для всех рек характерно преимущественно снеговое питание. Ледостав на них устанавливается в конце октября–ноябре, реки зимой обычно промерзают до дна. Среднегодовой расход воды р. Пёши в устье составляет около 50 м³/с.

Геологическое строение и рельеф территории обуславливают формирование русел рек в свободных условиях развития русловых деформаций; на всех реках русла широкопойменные, за исключением среднего течения р Пёши, где врезанное русло связано с пересечением отрогов Тиманского кряжа. Преобладающим морфодинамическим типом является извилистое русло, представленное преимущественно сегментными и петлеобразными свободными излучинами. При пересечении моренных холмов иногда встречаются короткие участки с врезанным руслом и порожистое русло на скоплениях валунов. В низовьях рек встречаются петлеобразные излучины, на крыльях которых формируются острова, либо они разделены прямолинейными вставками, также осложненными островами. Длина таких островов не превышает 1,5 км, а ширина 0,5-0,6 км.

Руслообразующие наносы на всех реках представлены песками, формирующие перекаты и обширные прирусловые отмели, находящиеся в промерзшем состоянии. Ввиду широкого распространения многолетней мерзлоты интенсивность горизонтальных русловых деформаций не велика – не более 3 м/год. На реках

степень развитости l/L излучин колеблется в диапазоне от 1,2 до 3; радиус кривизны r составляют от 0,3 до 2 км.

Ширина рек в верхнем и среднем течении изменяется от 20 до 100 м, в нижнем иногда достигает 500 м и более. Глубина изменяется от 0,1-2,1 м в верхнем течении до 0,5-4,7 м в нижнем. На всем протяжении рек много перекатов. Устьевые области рек находятся под влиянием приливов и нагонов, вызывающих подъем уровней до 1,5 м, при дальности их проникновения в реки 25-45 км. Это обуславливает часто спрямления излучин в нижнем течении. Дельты имеют клювовидную форму (Русловые..., 1990; Русловой..., 1994).

В устьях все реки образуют раструбообразные расширения в виде микроэстуариев, получивших название губ Индигская губа, Чёшская губа и т.д. Только на р. Пёзе в таком расширении – губе сформировался остров, но выше по течению в зоне влияния приливов и нагонов на расстоянии около 20 км русло разветвленное, образованное следующими друг за другом одинокими и прибрежными островами. На остальных реках в расширении находятся осередковые разветвления, часто подводные в межень. В устьевом створе выход в море частично перегороджен морскими косами.

Пойма на большей части протяженности рек достаточная широкая, увеличиваясь вниз по течению, кроме участков с врезанным руслом: в верхнем течении соотношению $B_n/b_p < 5$, в нижнем $B_n/b_p > 10$. По рельефу поверхности поймы сегментно-гивистые, характеризующаяся высокой степенью заболоченности, также в нижнем течении могут встречаться озера, особенно на р. Оме.

На основе разрозненных литературных и архивных данных, анализа и сопоставления космических снимков было проведено картографирование русловых процессов и условий формирования речных русел бассейна рек Большеземельской и Малоземельской тундр, что позволило впервые дать общую характеристику их руслового режима. Показанные на карте условия и темпы развития русловых деформаций, морфологически однородные участки русла, ширина поймы и ее характеристика, а также перекатные и дельтовые участки средних и малых рек дают возможность не только получить представления по географии русловых процессов, но и иметь исходные сведения о проявлении русловых процессов для выполнения специальных изысканий при решении водохозяйственных и воднотранспортных мероприятий. Полученные результаты особенно актуальны в связи с возрастающим вниманием к освоению рек Арктической зоны.

Библиографический список

1. Воскресенский С.С. Геоморфология СССР. М.: Высшая школа, 1968. 368 с.
2. Русловой режим рек Северной Евразии. Под ред. Р.С. Чалова. М.: Изд-во МГУ. 1994. 316 с.
3. Русловые процессы на реках СССР. М-6 1:4000000. М.: ГУГК СССР. 1990. 4 л.

Благодарности. Исследование выполнено по планам НИР (ГЗ) научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова "Эрозионно-русловые системы: гидрологический режим, природно-антропогенные трансформации и прогноз опасных проявлений" (исходные данные, обобщение результатов) при финансовой поддержке РНФ (проект 23-17-00065 – новые данные, картографирование).

© Куракова А.А., Чалова Е.Р., Чалов Р.С., 2026

УДК 551.51

Ж.К. Махмудов,
Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, г. Ташкент.
Б.Ф. Хикматов,
Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, г. Ташкент, (PhD) начальник отдела
Л.М. Карандаева,
Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, г. Ташкент.

ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И ВЫСОТА СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА ПЕРЕВАЛЕ КАМЧИК

Аннотация. В данной статье рассматриваются изменения температуры воздуха и высоты снежного покрова на перевале Камчик за зимний сезон 2024-2025 гг. по сравнению с нормой. Согласно выполненным исследованиям, средняя годовая температура воздуха была на +1,2 °C выше нормы (0 °C), а высота снежного покрова уменьшилась на 32 см по сравнению с нормой (42 см).

Ключевые слова: перевал Камчик, изменение климата, высота снежного покрова, лавины, средняя месячная температура воздуха, оценка.

AIR TEMPERATURE VARIATIONS AND SNOW COVER DEPTH AT THE QAMCHIQ PASS

Annotation. This article examines variations in air temperature and snow cover depth at the Qamchiq Pass during the 2024–2025 winter season compared to long-term averages. According to the research conducted, the average annual air temperature was 1.2 °C above the norm (0 °C), while the snow cover depth decreased by 32cm relative to the established norm (42 cm).

Key words: Qamchiq Pass, Climate Change, Snow Cover Depth, Avalanches, Monthly Average Air Temperature, Assessment.

Введение. В последние годы под влиянием изменения климата наблюдается значительное уменьшение высоты (толщины), площади и продолжительности залегания сезонного снежного покрова [1, 7]. Запасы снега в бассейнах рек характеризуются разнообразием площади и высоты снежного покрова. Повышение температуры воздуха ухудшает условия для сохранения запасов снега в горной зоне, что ведет к их уменьшению [2, 6].

Перевал Камчик является жизненно важной транспортной артерией Узбекистана. Климатические условия в этом регионе, особенно высота снежного покрова, из года в год претерпевают существенные изменения. Таяние снега на перевале обычно начинается в начале апреля, иногда продолжается до мая, а в холодные годы – до начала июня [3].

Отклонение температуры воздуха и высоты снежного покрова от многолетней нормы приводит к изменению процессов накопления снега и повышению риска схода лавин в горных районах. В связи с этим изучение динамики снежного покрова имеет актуальное значение не только для гидрологических процессов, но и для обеспечения безопасности транспорта и оценки вероятности стихийных бедствий (схода лавин).

Целью исследования является сравнение и анализ изменений среднемесячной температуры воздуха, высоты снежного покрова за зимний сезон 2024–2025 гг. с многолетней нормой.

Объектом исследования является участок автодороги А-373 Ташкент – Ахангаран – Ангрен – Коканд – Шахрихан – Андижан (рис. 1), проходящий через перевал Камчик [4]. Предмет исследования заключают вопросы определения толщины снежного покрова и изменения среднемесячной температуры воздуха на данном перевале.

Основные результаты. Результаты многих научно-исследовательских работ показывают, что сокращение площадей снежного покрова в бассейнах рек Западного Тянь-Шаня ведет к интенсивному снижению его толщины [3]. Исследуемая территория является одним из наиболее влажных склонов Кураминского хребта. Средняя высота перевала составляет 1800–2200 метров над уровнем моря. Анализ данных за последние тридцать лет (1991–2021 гг.) показал, что высота снежного покрова в зимний сезон на перевале Камчик уменьшилась на 0,50 метра [5].

Зимний сезон 2024–2025 гг. характеризовался относительно теплыми атмосферными процессами и малым количеством осадков. В январе средняя высота снежного покрова составила 19 см, что на 37 см меньше многолетней нормы (56 см). В феврале разница стала еще более заметной и высота снежного покрова составила 20 см, что на 57 см ниже нормы (77 см). Это объясняется относительно высокой температурой и малым количеством атмосферных осадков.

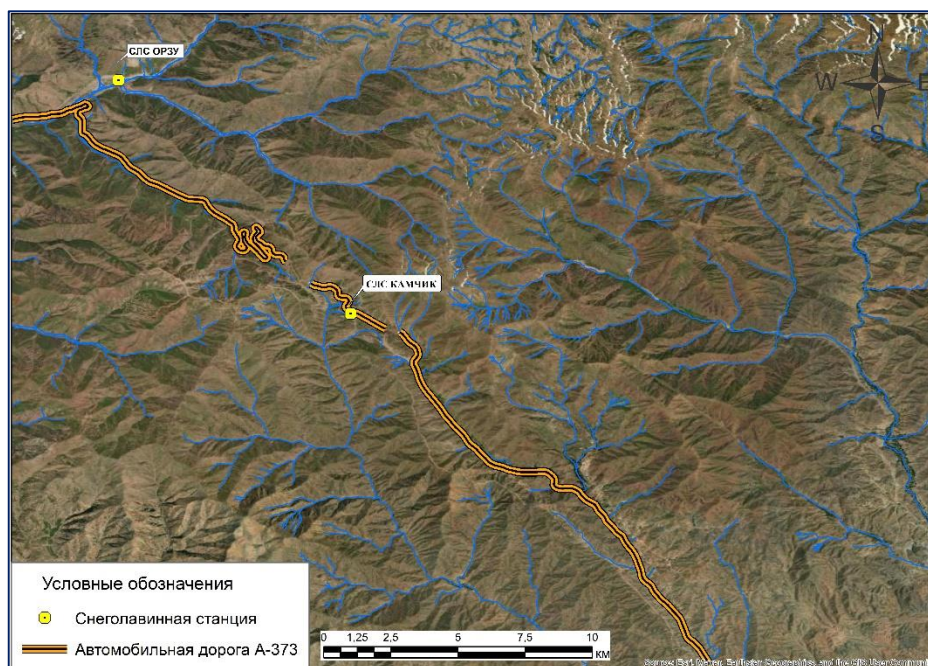


Рис. 1. Карта-схема географического расположения объекта исследования

В марте отклонение достигло 48 см, а в апреле снежный покров практически не сформировался, при норме 12 см. В среднем за зимний сезон 2024–2025 гг. высота снежного покрова составила 10 см, что на 32 см меньше нормы (42 см). Это свидетельствует о сухой и относительно теплой зиме в данном регионе (рис. 2).

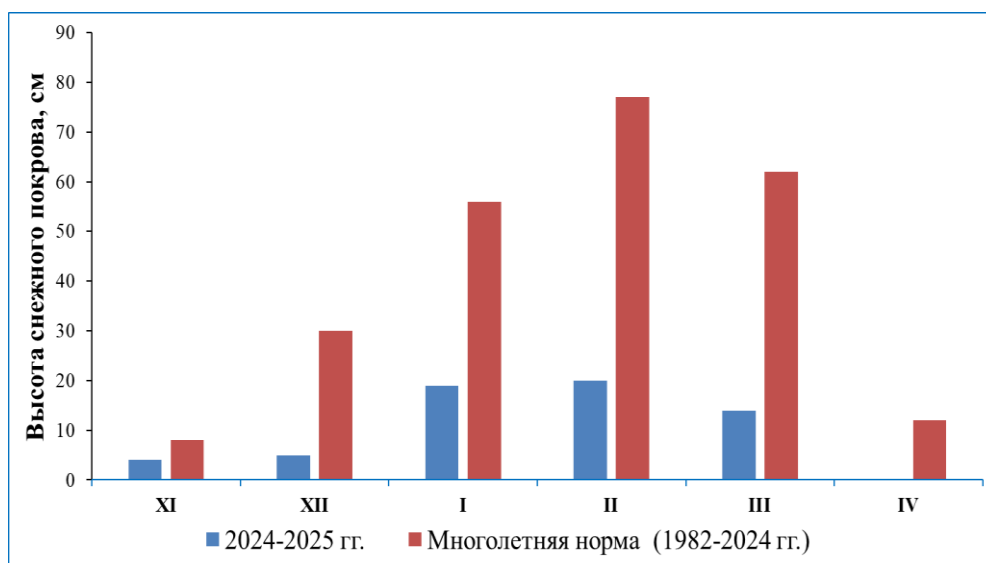


Рис. 2. Изменение высоты снежного покрова в лавиноопасный сезон на перевале Камчик

В течение лавиноопасного сезона (ноябрь–апрель) 2024–2025 гг. на перевале Камчик наблюдались значительные колебания температуры воздуха: **ноябрь**: средняя температура составила $+1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, что на $1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше нормы ($+0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$); **декабрь**: температура опустилась до $-4,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, т.е. на $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ниже нормы ($-3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$), что способствовало формированию снежного покрова; **январь**: самый холодный месяц со средней температурой $-3,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, что на $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше нормы ($-5,3\text{ }^{\circ}\text{C}$); **февраль**: температура составила $-2,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (на $+1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше нормы), что активизировало процессы перекристаллизации в слоях снега; **март**: температура поднялась до $+0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (на $1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше нормы), что вызвало признаки таяния снега; **апрель**: зафиксирован резкий рост температуры до $+8,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, что на $3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше нормы – это самое большое отклонение в сезоне, создавшее условия для интенсивного таяния и схода лавин (рис. 3).

Общая средняя температура сезона 2024–2025 гг. составила $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ при норме $-1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, что подтверждает аномально теплый характер зимы (разница $+1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$).

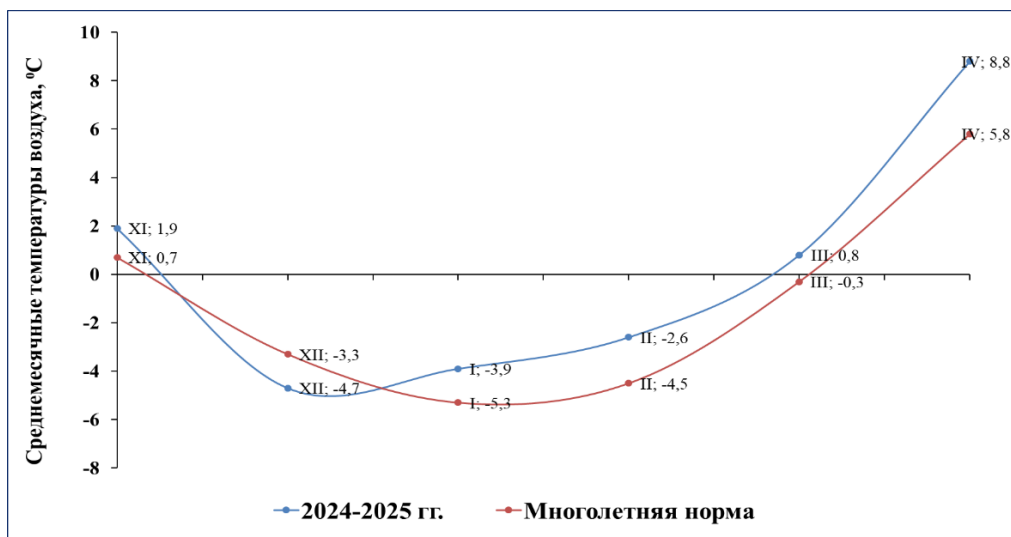


Рис. 3. Средняя месячная температура воздуха за лавиноопасный сезон

Выводы: Анализ показал, что за сезон 2024-2025 гг. на перевале Камчик температура воздуха была на 1,2 °C выше многолетней нормы. Несмотря на отрицательные температуры в зимние месяцы, превышение нормы в январе и феврале негативно сказалось на устойчивости снежного покрова.

Зафиксировано значительное уменьшение высоты снежного покрова относительно нормы: в январе - на 37 см, в феврале - на 57 см, в марте - на 48 см.

В целом, данные показатели свидетельствуют о крайне низком накоплении снеготопливных запасов в районе перевала Камчик в исследуемый зимний период 2024-2025 гг.

Библиографический список

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / Г.В. Алексеев, М.Д. Ананичева, О.А. Анисимов и др. – М.: Росгидромет, 2014. – 93 с.
2. Третье национальное сообщение Республики Узбекистан по Рамочной конвенции ООН об изменении климата. – Ташкент: Узгидромет, 2016. – 106 с.
3. Нишонов Б.Э., Махмудов Ж.К., Мамараимов А.Ж. Влияние изменения климата на динамику снежного покрова в бассейне реки Ахангаран // Гидрометеорология и мониторинг окружающей среды. – Ташкент, 2022. – № 3. – С. 75-82.
4. Трошкина Е.С. Лавинный режим горных территорий СССР. Итоги науки и техники. Серия гляциология. – М., 1992. – 185 с.
5. Махмудов Ж. Изменение динамики снежного покрова на перевале Камчик / Гидрометеорологические исследования в условиях изменения климата: актуальные проблемы и их решения / Материалы международной научно-практической конференции. – Ташкент, 2022. – С. 205-208.
6. Li L., Pomeroy J. W. (1997b). Estimates of Threshold Wind Speeds for Snow Transport Using Meteorological Data. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 36(3). – PP. 205–213.
7. Filhol S., Sturm M. (2015). Snow bedforms: A review, new data, and a formation model. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 120(9). – PP. 1645-1669.

© Махмудов Ж.Б., Хикматов Б.Ф., Карандаева Л.М., 2026

Н.М. Михайлова,
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва
И.В. Крыленко,
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва
О.В. Лошкова
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва
Л.А. Турыкин
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

ВКЛАД ТАЛОГО СТОКА В БАССЕЙНЕ РЕКИ ЧЕРТАНОВКИ (г. МОСКВА)

Аннотация. Бассейн реки Чертановки полностью расположен в пределах г. Москвы, что во многом определяет характер изменения водности в водотоках бассейна. Наблюдения за водным режимом рек в этом бассейне были начаты авторами в 2023 г. и к настоящему времени собраны данные за четыре разные по характеру половодья. По этим данным выявлены величины суточных колебаний водности и мутности воды, вызванные снеготаянием.

Ключевые слова. Водный режим, половодье, снеготаяние, малые реки Москвы, река Чертановка, мутность воды

CONTRIBUTION OF THE MELTING RUNOFF TO THE CHERTANOVKA RIVER BASIN (MOSCOW)

N.M. Mikhailova,
Lomonosov Moscow State University, Moscow
I.V. Krylenko
Lomonosov Moscow State University, Moscow
O.V. Loshkova
Lomonosov Moscow State University, Moscow
L.A. Turykin
Lomonosov Moscow State University, Moscow

Abstract. The basin of the Chertanovka River is located completely within the Moscow borders, that largely controls the pattern of changes in water content for stream flows of the basin. The authors have started at 2023 observations on water patterns of rivers in the basin. Data are collected by now for four high water floods differing in their patterns. Values of the 24-hourly fluctuations were established based on the data in both water content and turbidity of water caused by melting of snow.

Key words. Water pattern, high water flood, melting of snow, small rivers of Moscow, the Chertanovka River, turbidity of water

В данном исследовании интерес представляла наименее зарегулированная и наименее нарушенная часть водосбора р. Чертановки, расположенная в пределах парка Битцевский лес.

Талый сток – часть поверхностных вод, поступающих в водотоки в результате таяния снега и льда. Он является одним из основных компонентов гидрологического режима в регионах с зимним снежным покровом. Учет талого стока необходим при планировании водных ресурсов и возможности их потребления, а также в моделировании гидрографов и при составлении гидрологических прогнозов. Например, в работе (Smith et al., 2012) отмечается, что недоучет талого стока может привести к недооценке водных ресурсов и ошибкам в прогнозах паводков. Таким образом, наличие фактических измеренных данных в период половодья играет важную роль при расчётах стока весеннего половодья и его трансформации по длине водотоков, а также повышает точность моделирования и прогнозов, особенно для ранее неизученных с гидрологической точки зрения водосборов

Формирование и интенсивность талого стока зависят от комплекса факторов: запаса воды в снеге, температуры воздуха, которая является основным фактором, определяющим интенсивность таяния снега; осадков, которые в жидком виде ускоряют таяние снега, в твердом – замедляют; солнечной радиации – прямые солнечные лучи ускоряют таяние снега, в то время как в тени снег тает медленнее, структуры снежного покрова – рыхлый снег тает быстрее; наличия и скорости ветра, дефицита влажности воздуха и как следствие, испарения снега (Калужный И.Л., 2022), рельефа и экспозиция склона – на склонах южной экспозиции снег тает быстрее; характера растительности – в лесу снег тает медленнее; характера почвенного покрова, – его плотность, проницаемость, насыщенность влагой; глубины промерзания; антропогенной нагрузки – наличие

твердых покрытий уменьшает водопроницаемость, искусственно создается концентрация стока, меняется микроклимат, распашка полей увеличивает проницаемость почвы и др.

Исследования разных авторов показывают, что в условиях умеренного и холодного климата доля талого стока в годовом стоке малых рек составляет от 30% до 70% (Кузьмин, 2010; Иванова, 2015). Однако в отличие от большинства рек бассейна Верхней Волги, на которых большая часть годового стока формируется в весенний сезон (Основные гидрологические характеристики..., 2015), на Чертановке за период наблюдений только в годы с высоким половодьем объем стока в половодье незначительно превышал годовой объем паводков. В годы с низким половодьем и отсутствием в этот период осадков, весенний сток оказывался меньше летнего, с наличием дождевых паводков.

За период наших наблюдений (2023–2026 гг.) подъемы воды в половодье были хорошо выражены только в 2023, 2024 и 2026 гг. В эти годы во время половодья коллективом авторов были организованы учащенные наблюдения за стоком воды на различных участках рек в бассейне реки Чертановки. Основной целью этих исследований было измерение нарастания стока по длине условно бесприточных участков водотоков в период снеготаяния. Эти наблюдения позволили оценить для разных фаз половодья: а) динамику стока, связанную с суточным ходом снеготаяния; б) долю талого стока с конкретных участков водосбора. Помимо измерений расхода воды, на исследуемых участках также фиксировалась оптическая мутность воды в реках и в устьях впадающих ручьев, также проводился отбор проб для определения весовой мутности и гранулометрического состава взвешенных наносов. В 2025 году подобные исследования не проводились, поскольку зимний сезон был практически бесснежным, а половодье как фаза водного режима было крайне слабо выражено.

Половодье на Чертановке, как и на многих малых реках осложнено множеством пиков, обусловленных внутрисуточным ходом интенсивности снеготаяния (рис. 1). По данным наблюдений в створах, организованных авторами, водомерных постов, величина колебания уровня во время суточных пиков увеличивается по мере увеличения интенсивности снеготаяния от нескольких сантиметров в начале снеготаяния до 20-30 см на Коньковском ручье и до 40-45 см на Чертановке в период пика половодья.

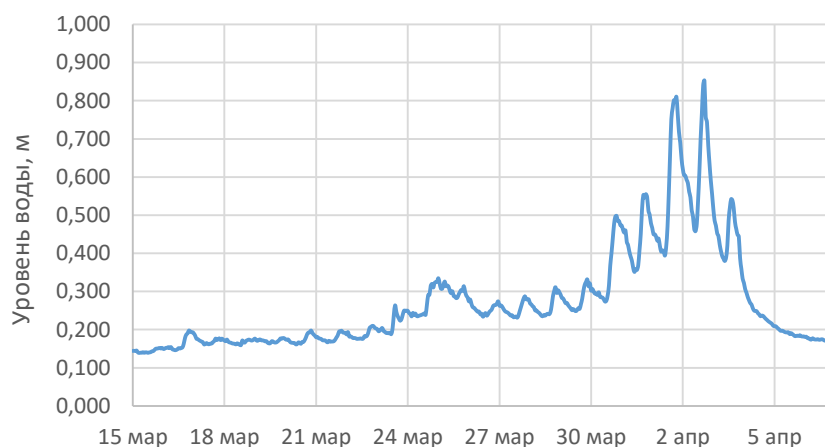


Рис. 1. График хода уровня воды в период половодья 2024 г. на замыкающем створе р. Чертановки в парке Битцевский лес

Величина пиков, их характер, продолжительность и интенсивность половодья в разные годы отличается, что в первую очередь взаимосвязано с погодными условиями в период снеготаяния. Рассматриваемые годы отличались друг от друга температурным режимом и наличием осадков в периоды начала и прохождения половодья.

По данным ближайшей к бассейну Чертановки метеостанции Бутово в 2023 г. периоду начала половодья предшествовала оттепель, вызвавшая краткосрочное повышение уровня воды и последующие заморозки. Половодье началось 21 марта, когда ночные температуры не опускались ниже +2 С. и на протяжении всего половодья сохранялись положительными, изменяясь в пределах восьми градусов от +2 до +10 С, за исключением конца спада половодья, когда в ночные часы температура однократно упала ниже -1 С (рис.2). Однако такие незначительные суточные колебания температуры сопровождалось выпадением осадков в течение всей волны половодья, что повысило интенсивность снеготаяния, повлияло на высоту пиков и увеличило период спада, также осложнённого паводками. Пик половодья в 2023 г. пришёлся на 26 марта, продолжительность половодья составила 15 дней.

В 2024 г. подъем воды начался 16 марта на фоне отрицательных ночных (до -5 С) и положительных дневных (до +8 С) температур. Характер подъема был постепенным плавным с суточным колебанием водности. Трехдневное повышение стока на подъеме половодья было обусловлено кратковременным периодом, когда температура воздуха оставалась положительной в ночные часы. Интенсивный подъем уровня с большим суточным ходом начался при устойчивом сохранении положительных температур ночью и увеличении максимальных дневных температур до 15-20 С. За весь период половодья осадки отсутствовали,

что в совокупности с высокими дневными температурами способствовало быстрому спаду половодья (в течение 2 дней). Пик половодья пришёлся на 2 апреля, продолжительность половодья составила 20 дней.

В 2026 г. половодье началось на фоне больших суточных колебаний температуры воздуха (т.н. «температурные качели»), когда в ночные часы наблюдались заморозки (температура опускалась почти до - 5 С), а днем воздух прогревался до +8 – +12 С. Такие суточные перепады температуры продолжались практически до наступления пика половодья. Пик прошёл в тот период, когда на протяжении двух дней ночные температуры были положительными, а максимальная дневная поднялась выше +15 С. В течение практически всего периода половодья стоял устойчивый антициклон с редкой переменной облачностью или ее отсутствием. Только в конце спада пришел циклон, сопровождавшийся незначительными осадками.

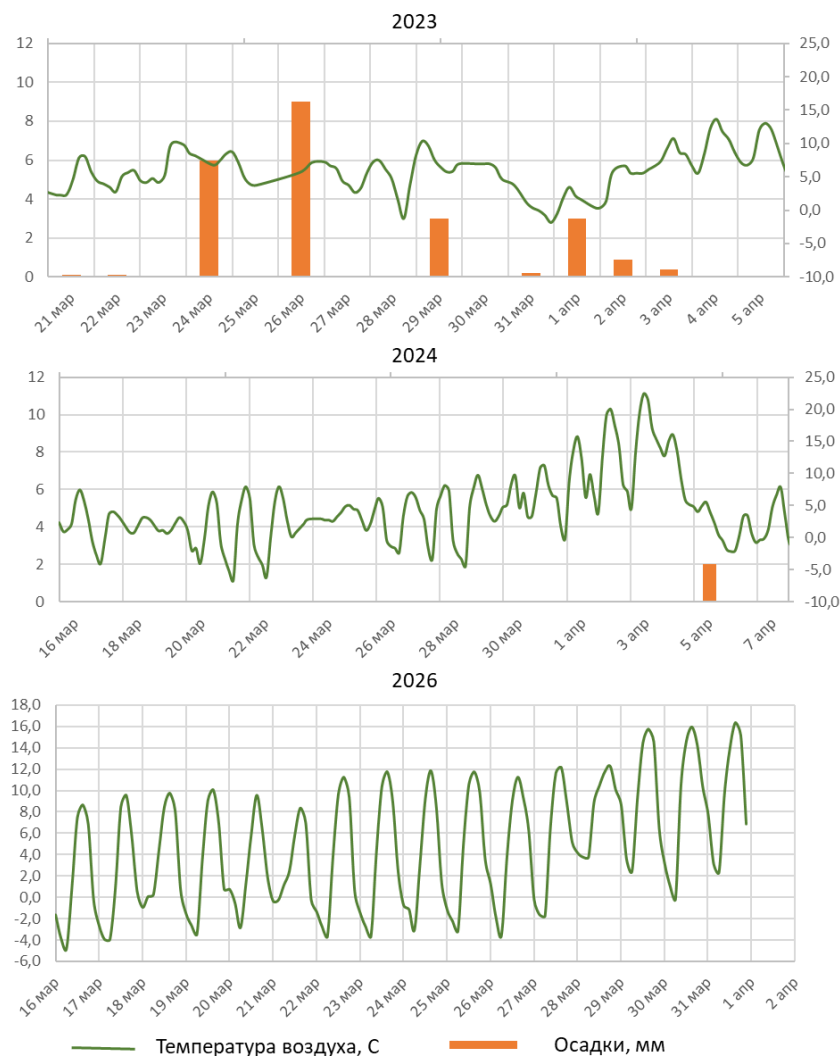


Рис. 2. Данные погоды по метеостанции Бутово (г. Москва) в период прохождения половодий 2023, 2024 и 2026 гг.

Для получения данных об изменении стока по длине рек в период снеготаяния, были выбраны несколько условно бесприточных (без постоянной боковой проточности) участков на руч. Коньковском и р. Чертановке с расходными створами в начале и конце каждого участка на относительно стабильных участках русла. Протяженность выбранных участков составляла около 400 и 600 м на Чертановке в нижней части рассматриваемого участка бассейна (в пределах парка Битцевский лес) и 300 и 500 м на Коньковском ручье. В пределах двух участков располагались временные водомерные посты, оборудованные логгерами уровня воды с частотой записи 10-30 мин. Измерения расходов воды гидрологической вертушкой ИСП производились в начале и в конце каждого участка. В 2026 г. в отличие от предыдущих лет, такие измерения выполнялись ежедневно в течение половодья по возможности во время внутрисуточных пиков уровня воды. Также для оценки вклада притоков в водность Чертановки в периоды снеготаяния, дополнительно были измерены расходы воды в устьевых створах Дубининской речки и Коньковского ручья.

Данные, полученные в результате прямых измерений показали, что в годы с хорошо выраженным половодьем (2023, 2024 и 2026 гг.) максимальный расход р. Чертановки в замыкающем створе Битцевского парка на пике превышал средний меженный в 40-70 раз. В период снеготаяния на условно бесприточных участках руч. Коньковского сток увеличивается на 37-50%; на участке р. Чертановки, протяженностью около 400 м, в разные дни половодья сток увеличивался на 6-13%, на 600-метровом участке – на 9-16%. Вклад

притоков в водность р. Чертановки в период половодья увеличивается существенно – Дубининская речка добавляет около 30% в период подъема половодья и до 50% на пике, вклад Коньковского ручья в дни измерений - составил 24-35%.

Одновременно с измерением расходов воды была определена оптическая мутность воды в расходных створах и ручьях, впадающих на выбранных участках. Пробы воды на мутность проанализированы с использованием оптического турбидиметра АМТ-27 Portable Turbidity Meter. Отбор проб из водотоков производился непосредственно в кюветы анализатора и сразу выполнялся анализ, т.к. проведенные ранее эксперименты показали, что оптическая мутность проб, отобранных предварительно в бутылки, может приводить к занижению значений (Михайлова и др., 2025). В начале подъема половодья в утренние часы на фоне предшествующих отрицательных ночных температур и отсутствия осадков, мутность воды в Чертанове составляла от 1,7 до 6 NTU. В вечерние часы, в период суточных максимумов уровня – 300-500 NTU. Близко к пику половодья, когда в ночные часы температура воздуха перестала опускаться ниже 0 С, утром при минимальном суточном уровне воды значения мутности в тех же створах превышали 600 NTU, а на пике половодья максимальное измеренное значение мутности там же составило 1880 NTU. На спаде половодья мутность воды в Чертановке в утренние часы вернулась к значениям 5-10 NTU.

Проведена оценка мутности воды временных ручьев, формирующихся в период снеготаяния и стекающих с водосбора в реки бассейна. Пробы воды на мутность отбирались во временных ручьях с расходом воды от 0,5 до 7 л/с непосредственно перед впадением в р.Чертановку, Коньковский ручей и Дубининскую речку. За половодье 2026 г. измеренная мутность в ручьях составила от 0,7 до 15 NTU в дневные и вечерние часы, что значительно ниже мутности приёмных водотоков. При этом, независимо от расхода воды в ручье, наименьшая мутность отмечена во временных ручьях, формирующихся на пойме и протекающих по листовому опадку без образования выработанного русла.

На протяжении половодья на фоне внутрисуточного колебания уровня воды, в реке были неоднократно зафиксированы кратковременные всплески мутности на 200-600 NTU при неизменном уровне воды, которые связаны с разными факторами, как природными, так и антропогенными. К природным относятся подмыв, оползание и обрушение берегов, солифлюкция и др. Увеличение мутности в результате этого фактора может быть кратковременным (до 10 мин), если оползание небольшого участка берега произошло недалеко от створа измерений и не вызвало подпора, и более растянутым во времени, если оползень сошел в 300-500 м выше по течению или началось локальное разжижение грунта на оттаивающих и переувлажненных русловых откосах, в то время как массовое разжижение грунта на откосах берегов на различном удалении от створа измерений создает общий фон изменения мутности воды в течение суток.

Таким образом, проведенные в период половодий учащенные наблюдения за стоком и мутностью воды позволили определить величины, связанных со снеготаянием суточных колебаний водности и ее увеличения по длине водотоков, а также определить диапазон изменения оптической мутности в половодье, ее суточный ход, и возможные величины кратковременных всплесков мутности воды.

Благодарности

Исследование выполнено по планам НИР (ГЗ) научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова "Эрозионно-русловые системы: гидрологический режим, природно-антропогенные трансформации и прогноз опасных проявлений"

Библиографический список

1. Иванова, Е. П. Вклад талого стока в гидрологический режим горных речных систем. Гидрология и гидроэкология, 21(4), 2015. С. 45-58.
2. Калюжный И.Л. Особенности испарения со снега при снегонакоплении и снеготаянии // Гидрометеорология и экология. 2022. № 68. С. 422–434.
3. Кузьмин, В. В.. Гидрология малых рек. Москва: Наука. 2010
4. Михайлова Н.М., Овчинникова О.В., Ботавин Д.В., Лошков О.Д. Оценка определения мутности воды и гранулометрического состава частиц на реках с большим стоком взвешенных наносов // Научное приборостроение - перспективы, разработки, создания и использования. Материалы II всероссийской научно-практической конференции с международным участием, издательство МИД «ЕвроМедиа» (Ростов-на-Дону), 2025. С. 68-72
5. Основные гидрологические характеристики рек бассейна Верхней Волги / Коллектив авторов; под редакцией Георгиевского В.Ю. – Ливны: Издатель Мухаметов Г.В., 2015. 129 с.
6. Smith, J., Brown, L., & Lee, K. Snowmelt contribution to streamflow in mountain basins. Journal of Hydrology, 456. 2012, p. 34-45.

© Михайлова Н.М., Крыленко И.В., Лошкова О.В., Турыкин Л.А., 2026

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ ОСНОВНЫХ РЕК НАМАНГАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация. В данной статье проанализированы возможности применения гидрохимических, гидробиологических и микробиологических показателей, а также индекса загрязнения воды (ИЗВ) при оценке состояния водных объектов. Оценено качество воды рек Карадарья, Нарын и Сырдарья Наманганской области Узбекистана по индексу загрязнения воды (ИЗВ) на основе многолетних данных. Также, для оценки качества воды с целью орошения использованы методы И.Н. Антипова-Каратаева и Г.М. Кадера, А.В. Можайко и Т.К. Воротник, М.Ф. Буданова, а также показатель натриевого адсорбционного отношения (SAR).

Ключевые слова: реки, оценка, качество воды, гидрохимические показатели, интегральные показатели, ИЗВ, Узбекистан.

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF WATER QUALITY OF THE MAIN RIVERS OF NAMANGAN REGION

Abstract. This article analyzes the possibilities of applying hydrochemical, hydrobiological, and microbiological indicators, as well as the Water Pollution Index (WPI), in assessing the condition of water bodies. The water quality of the Karadarya, Naryn, and Syrdarya rivers in the Namangan region of Uzbekistan was evaluated using the Water Pollution Index (WPI) based on long-term data. Additionally, for assessing water quality for irrigation purposes, the methods of I.N. Antipov-Karataev and G.M. Kader, A.V. Mozhaiko and T.K. Vorotnik, M.F. Budanov, as well as the Sodium Adsorption Ratio (SAR) were applied.

Keywords: rivers, assessment, water quality, hydrochemical indicators, integral indicators, WPI, Uzbekistan.

Водные ресурсы являются стратегически важным природным богатством, обеспечивающим жизнедеятельность человека, сельское хозяйство, промышленность и устойчивость экосистем. В условиях интенсификации экономической деятельности, роста численности населения и изменения климата антропогенная нагрузка на водные объекты постоянно возрастает. Это приводит к изменению физических, химических и биологических показателей природных вод, то есть к их загрязнению.

В настоящее время методы оценки степени загрязнения поверхностных вод подразделяются на две группы. К первой группе относятся методы, позволяющие оценивать качество воды на основе совокупности гидрохимических, гидрофизических, гидробиологических и микробиологических показателей. Ко второй группе относятся методы, основанные на расчёте интегральных показателей загрязнения воды.

Развитие методов второй группы — то есть методов, основанных на комплексных (обобщённых) показателях загрязнения — в историческом плане происходило более активно по сравнению с методами первой группы, связанными с классификацией качества воды. По внешним признакам загрязнения водные объекты подразделялись на шесть категорий: очень чистые, чистые, достаточно чистые, относительно чистые, сомнительные и загрязнённые. В качестве показателей использовались БПК₅, окисляемость, аммонийный и нитратный азот, хлорид-ионы и растворённый кислород. Кроме того, учитывались органолептические и биологические признаки, такие как запах, мутность воды, наличие или отсутствие рыбы, характер водной растительности. Наибольшее значение придавалось показателю БПК.

Ограничение анализа качества воды только отдельными показателями во многих случаях не позволяет в полной мере отразить общее экологическое состояние. В связи с этим были разработаны интегральные показатели — индексы, которые объединяют несколько параметров в единую числовую оценку. Одним из наиболее широко применяемых является индекс загрязнения воды (ИЗВ).

ИЗВ был введён в 1986 году гидрометеорологической службой бывшего СССР и относится к числу наиболее распространённых показателей для оценки качества водных объектов [6].

ИЗВ позволяет проводить сравнительный анализ экологического состояния водных объектов, оценивать его изменения во времени и сопоставлять различные территории. Индекс загрязнения воды (ИЗВ) — это интегральный показатель, основанный на соотношении концентраций основных загрязняющих веществ в воде с их предельно допустимыми концентрациями (ПДК), и служит для выявления экологически благоприятных, умеренно загрязнённых и сильно загрязнённых водных объектов.

ИЗВ используется для оценки общего уровня загрязнения водных объектов, определения динамики загрязнения во времени, сравнительного анализа различных водоёмов, а также для представления результатов экологического мониторинга в упрощённой форме.

ИЗВ рассчитывается по следующей формуле:

$$\text{ИЗВ} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \frac{C_i}{\text{РЕМ}i}$$

здесь: C_i – измеренная концентрация вещества, мг/л; ПДК_i – предельно допустимая концентрация данного вещества, мг/л; n – количество учитываемых загрязняющих веществ.

На практике наиболее часто используются следующие показатели: биохимическое потребление кислорода (БПК₅); химическое потребление кислорода (ХПК); ионы аммония, нитриты и нитраты; фосфаты; тяжёлые металлы (Cu, Zn, Pb, Cd); нефтепродукты [3].

По результатам данных наблюдений на основе многолетних данных по трём крупным рекам Наманганской области – реки Карадарья, Нарын и Сырдарья была проведена оценка качества воды по индексу загрязнения воды (ИЗВ) (рис.1). Использовались данные с 1987 года по 2024 год [3]. За рассматриваемый период ИЗВ реки Карадарья (по пункту к. Учтепа) изменялся в пределах 0,7-2,4, ИЗВ реки Нарын (по пункту устье) 0,71-2,79, ИЗВ реки Сырдарья (по пункту к. Каль) 0,69-2,44 Все эти пункты относятся к зоне использования речного стока.

Согласно полученным результатам, качество воды этих рек не соответствует к I классу (чистые воды). В целом, по качеству воды реки в основном относятся ко II–III классам. Воды реки Сырдарья в пункте к. Каль в 2019–2020 годах были отнесены к IV классу и оценены как загрязнённые. Вода реки Нарын в пункте устье в 1989 году также была отнесена к IV классу и характеризовалась как загрязнённая, тогда как в остальные годы она относится ко II–III классам. Вода реки Карадарья в пункте к. Учтепа относилась.

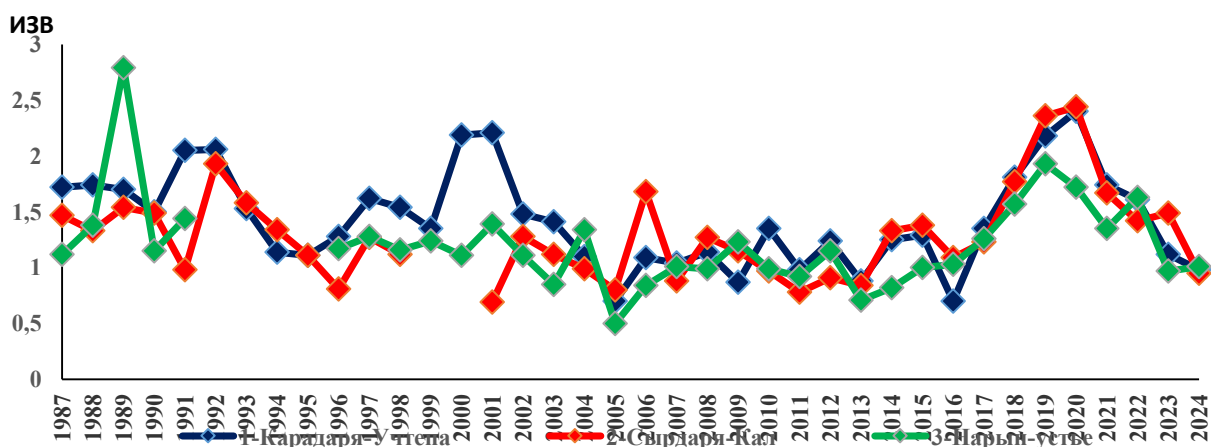


Рис. 1. Качество воды рек Наманганской области по ИЗВ

Роль качества воды в сельском хозяйстве чрезвычайно важна, поскольку качество оросительной воды напрямую влияет на урожайность, состояние почвы и, что особенно важно, на воздействие вредных веществ на организм человека и животных через растения.

К параметрам оценки качества воды в сельском хозяйстве относятся физические, химические и токсикологические показатели. Определение чётких критериев пригодности воды для орошения затруднено, поскольку оценка проводится по различным методикам. Кроме того, при оценке необходимо учитывать не только качество воды, но и почвенно-грунтовые характеристики орошаемых земель, а также гидрогеологические условия.

Для оценки влияния хозяйственной деятельности человека на химический состав речных вод предложен ряд методов. Качество воды вышеуказанных рек для целей орошения было оценено по методам И.Н. Антипова-Каратаева и Г.М. Кадера [1], А.В. Можайко и Т.К. Воротника [5], М.Ф. Буданова [2], по показателю натриевого адсорбционного отношения (SAR) (табл. 1).

Таблица 1

Оценка качества воды рек Наманганской области для целей орошения

Расчётные показатели	Карадарья – к. Учтепа (1976–2024 гг.)	Нарын – устье (1985–2024 гг.)	Сырдарья – к.Каль (1985–2024 гг.)
$K_1 = \frac{(Ca^{2+} + Mg^{2+})}{(Na^+ + 0,238 \sum U)}$	3,55	3,06	3,66
$K_2 = \frac{(Na^+ + K^+) \cdot 100}{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+)}$	20,98	23,75	20,56
$K_3 = \frac{Na^+}{(Ca^{2+} + Mg^{2+})} \cdot 100\%$	26,06	30,44	25,30
$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$	0,97	0,93	1,01

Примечание: K₁ – метод И.Н.Антипова-Каратаева и Г.М. Адера; K₂ – метод А.В.Можайко и Т.К.Воротника; K₃ – метод М.Ф. Буданова; SAR – натриевое адсорбционное отношение; ΣU – минерализация, мг/дм³; Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺ – концентрации катионов, мг-экв/дм³.

В соответствии с полученными результатами воды всех рек в целом оценены как пригодные для орошения.

В целом, анализ многолетних данных по рекам Карадарья, Нарын и Сырдарья Наманганской области Узбекистана показал отсутствие вод I класса (чистые). В основном воды рассмотренных рек относятся к II–III классам (0,7–2,18), однако в отдельные годы (в частности, река Сырдарья в 2019–2020 гг., река Нарын в 1989 г.) наблюдалось ухудшение до IV класса (2,79–2,44), что свидетельствует о росте антропогенной нагрузки и изменении гидрохимического режима рек.

По результатам оценки для целей орошения установлено, что в большинстве случаев воды рек пригодны для использования для ирригации.

В целом, комплексная оценка качества воды имеет важное значение для своевременного выявления экологических рисков, рационального использования водных ресурсов и обеспечения устойчивости сельского хозяйства. Данный подход позволяет осуществлять системный мониторинг состояния водных объектов и научно обоснованное планирование природоохранных мероприятий.

Список использованной литературы

1. Антипов И.И., Каратаев И.Г., Кадер М. О природе поглощения ионов глинами и почвами. II. Поглощение одновалентных и двухвалентных катионов бентонитовой глиной и натролитом, Коллоидный журнал, 1947, т. I № 2.
2. Буданов М.Ф. требования качеству оросительной воды // Водное хозяйство. – 1965. Вып. 1. – С. 10–20.
3. Гагарина О.В. Оценка и нормирование качества природных вод: критерии, методы, существующие проблемы. Ижевск 2012, 51–52 с.
4. Ежегодники Узгидромета, 1987–2024 гг.
5. Можайко А.М. Ворник Т.К. Гипсование солонцеватых каштановых почв УССР, орошаемых минерализованными водами, как метод борьбы с осланцеванием этих почв // Тр. Украинск. НИИ почвоведения. – 1958. – Т.3. – С. 51–60.
6. Шлычков А.П., Жданова Г.Н., Яковлева О.Г. Использование коэффициента стока загрязняющих веществ для оценки состояния рек // Мониторинг. – 1996. – № 2. – С. 23–27.

© Назиркулова М.Б., 2026

УДК 551.3

И.С. Пулодов,
учащийся 10 класса, МАОУ № 45 г. Уфы
Научный руководитель: В.Н. Никонов,
к. г.-м. н., доцент кафедры геологии,
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ КИСЛОТНЫХ ДОЖДЕЙ: ВЛИЯНИЕ НА ЛИТОСФЕРУ И ЭКЗОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

Аннотация. В статье рассматриваются геологические аспекты проблемы кислотных осадков, выходящие за рамки их традиционного изучения в экологии. Проанализировано воздействие кислотных дождей как мощного агента трансформации литосферы.

Ключевые слова: Кислотные дожди, геологическое выветривание, литосфера, геохимия почв, денудация, карстообразование, подкисление вод, мобилизация алюминия.

GEOLOGICAL ASPECTS OF THE ACID RAIN PROBLEM: IMPACT ON THE LITHOSPHERE AND EXOGENIC PROCESSES

Abstract. The article examines the geological aspects of the acid precipitation problem that go beyond its traditional study in ecology. The impact of acid rain as a powerful agent of lithosphere transformation is analyzed.

Keywords. Acid rain, geological weathering, lithosphere, soil geochemistry, denudation, karst formation, water acidification, aluminum mobilization.

Проблема кислотных осадков, длительное время рассматривавшаяся преимущественно в экологическом и биологическом ключе, имеет фундаментальные геологические последствия. Под кислотными дождями понимаются атмосферные осадки с водородным показателем pH ниже 5,6, что обусловлено растворением в воде диоксида серы (SO₂) и оксидов азота (NO_x) с образованием серной и азотной кислот [1]. Эти антропогенные кислоты становятся мощным агентом трансформации геологической среды, оказывая прямое воздействие на горные породы, почвенный покров и гидрологические системы. Данная статья посвящена анализу многогранного влияния кислотных дождей на литосферу, с акцентом на процессы химического выветривания, изменения в геохимических циклах и связанные с ними геоморфологические риски.

Механизм химического выветривания горных пород под воздействием кислотных осадков

Основной геологический ущерб от кислотных осадков заключается в резкой интенсификации процессов химического выветривания. Естественное выветривание, протекающее с участием слабых природных кислот, значительно уступает по скорости агрессивному антропогенному воздействию.

Наиболее уязвимыми являются породы карбонатного состава – известняки, доломиты и мраморы. Кальцит (CaCO₃), их главный породообразующий минерал, вступает в реакцию с серной кислотой по схеме:



Образующийся гипс обладает двумя деструктивными свойствами: во-первых, он легко выщелачивается грунтовыми водами, приводя к формированию пор и каверн, а во-вторых, кристаллизуясь в порах породы, создает кристаллизационное давление, вызывающее ее механическое разрушение – шелушение и расслаивание [2]. Именно этот процесс является основной причиной деградации множества памятников культурного наследия, возведенных из мрамора и известняка.

Силикатные породы, такие как граниты и гнейсы, более устойчивы, но также подвержены воздействию. Кислотные осадки инициируют гидролиз полевых шпатов, приводя к их преобразованию в вторичные глинистые минералы, например, каолинит. Это процесс, известный как каолинизация, нарушает кристаллическую решетку минералов, снижает прочность породы и увеличивает ее пористость, делая ее более восприимчивой к последующей физической эрозии [3]. Таким образом, кислотные дожди выступают катализатором денудации – общего процесса разрушения и выравнивания рельефа.

Геохимическая трансформация почвенного покрова

Почва является критически важным звеном, связывающим атмосферу, литосферу и биоту, и именно в почвенном покрове геологические и экологические последствия кислотных осадков переплетаются наиболее тесно.

1. Выщелачивание катионов. Ионы водорода (H⁺) из кислотных осадков вытесняют из почвенного поглощающего комплекса (ППК) основные питательные катионы: кальций (Ca²⁺), магний (Mg²⁺), калий (K⁺). Эти элементы мигрируют вниз по почвенному профилю и в конечном итоге попадают в грунтовые воды и речные системы. Длительное воздействие приводит к полному истощению буферной емкости почв, их оподзоливанию и резкому снижению плодородия [1].

2. Мобилизация токсичных элементов. Наиболее опасным геохимическим последствием подкисления является переход в подвижную форму ионов алюминия (Al³⁺) и тяжелых металлов. В нейтральных и слабокислых условиях алюминий прочно связан в кристаллических решетках алюмосиликатов, однако при падении pH ниже 4,5 он активно переходит в почвенный раствор, становясь сильным токсикантом для корневых систем растений и гидробионтов [4]. Параллельно может возрастать подвижность таких элементов, как свинец, кадмий и ртуть, что создает прямую угрозу для экосистем и здоровья человека.

Геоморфологические и гидрогеологические последствия

Кумулятивный эффект описанных процессов проявляется в изменении рельефа и гидрологического режима территорий.

В регионах с широким распространением карбонатных пород (например, в Центральном экономическом районе России) интенсифицируется карстообразование. Ускоряется формирование карстовых воронок, подземных полостей и пещер, что повышает риски для инфраструктуры – зданий, дорог и мостов.

В гидрогеологическом аспекте происходит подкисление малых озер и рек, особенно в районах с кристаллическим фундаментом, сложенным гранитами и гнейсами (например, Карелия, Кольский полуостров). Эти породы обладают крайне низкой буферной емкостью и не способны нейтрализовать поступающую кислоту. Это явление, подробно изученное на примере озер Карелии, приводит к деградации водных экосистем, выражающейся в исчезновении чувствительных видов рыб и беспозвоночных [5]. Изменяется и химический состав подземных вод, которые обогащаются сульфатами, алюминием и другими выщелоченными элементами.

Таким образом, проблема кислотных осадков представляет собой не только атмосферно-экологический, но и масштабный геологический вызов. Их воздействие на литосферу проявляется в интенсификации химического выветривания горных пород, глубокой трансформации почвенного покрова и активизации опасных геоморфологических процессов. Выступая в роли мощного агента гипергенеза, кислотные дожди нарушают естественные геохимические циклы, ускоряют денудацию и способствуют мобилизации токсичных элементов. Учет этих геологических аспектов является обязательным условием для

разработки эффективных стратегий мониторинга и защиты окружающей среды, особенно в промышленно развитых регионах с высокой кислотной нагрузкой. Дальнейшие исследования должны быть сосредоточены на количественной оценке скорости разрушения геологической среды под влиянием кислотных осадков и прогнозировании долгосрочных изменений в литосфере.

Библиографический список

1. Безуглова О.С. Почвоведение: учебник для вузов. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2018. – 420 с.
2. Власов Д.Ю., Франтова М.Ю. Состояние памятников архитектуры Санкт-Петербурга и влияние на них кислотных осадков // Записки Горного института. – 2015. – Т. 212. – С. 120–125.
3. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. – М.: Высшая школа, 2018. – 328 с.
4. Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Лозановская И.Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. – М.: Высшая школа, 2019. – 334 с.
5. Моисеенко Т.И. Кислотные дожди и судьба биосферы // Вестник Российской академии наук. – 2020. – Т. 90, № 2. – С. 140–150.

© Пулодов И.С., 2026

УДК 556.53

Ф.Ю. Саггарова

Ургенчский государственный университет,
г. Ургенч, Республика Узбекистан

Б.Э. Нишинов

Научно-исследовательский гидрометеорологический институт,
г. Ташкент, Республика Узбекистан

И.Р. Разикова

Научно-исследовательский гидрометеорологический институт,
г. Ташкент, Республика Узбекистан

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОЗЁР ХОРЕЗМСКОЙ ОБЛАСТИ ТЯЖЁЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Аннотация. В статье рассматриваются результаты исследования содержания тяжёлых металлов в воде озёр Хорезмской области. Проведён анализ концентраций меди (Cu), цинка (Zn), свинца (Pb), кадмия (Cd) и хрома (VI) в водной среде исследуемых водоёмов. Установлено, что содержание отдельных тяжёлых металлов варьирует в широких пределах и в ряде случаев приближается к экологическим нормативам или превышает их допустимые значения. Полученные результаты свидетельствуют о наличии антропогенного воздействия на озёрные экосистемы региона.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, озёра, загрязнение воды, гидрохимический анализ, Хорезмская область, Узбекистан.

STUDY OF HEAVY METAL POLLUTION IN THE LAKES OF THE KHOREZM REGION

Abstract. The article presents the results of a study on the content of heavy metals in the water of lakes in the Khorezm region. An analysis of the concentrations of copper (Cu), zinc (Zn), lead (Pb), cadmium (Cd), and chromium (VI) in the aquatic environment of the studied water bodies was carried out. It was found that the concentrations of some heavy metals vary within a wide range and in some cases approach or exceed environmental standards. The obtained results indicate the presence of anthropogenic impacts on the lake ecosystems of the region.

Key words: heavy metals, lakes, water pollution, hydrochemical analysis, Khorezm region, Uzbekistan.

Введение. Озёра Хорезмской области являются важными компонентами природных экосистем региона. Они выполняют значительные экологические и хозяйственные функции, обеспечивая среду обитания гидробионтов и участвуя в поддержании гидрологического баланса территории. Однако в последние годы под воздействием антропогенных факторов экологическое состояние озёрных экосистем претерпевает определённые изменения (Crootof et al, 2015). Основными источниками поступления тяжёлых металлов в озёра являются промышленные и сельскохозяйственные сточные воды, а также атмосферный перенос загрязняющих веществ.

В современных условиях антропогенное воздействие на природные водные экосистемы постоянно возрастает, что приводит к усилению процессов их загрязнения. Одним из наиболее опасных видов загрязнения водных объектов является поступление тяжёлых металлов. Данные элементы характеризуются высокой токсичностью, устойчивостью в окружающей среде и способностью к биоаккумуляции в живых

организмах. Попадая в водоёмы, тяжёлые металлы накапливаются в воде, донных отложениях и организмах гидробионтов, что может приводить к нарушению функционирования водных экосистем и ухудшению их экологического состояния (Кораблёва, 1991).

В связи с этим исследование содержания тяжёлых металлов в озёрах Хорезмской области и уровня их загрязнения являются важной задачей современных гидрохимических исследований, направленных на определение экологического состояния озёр данного региона.

Целью исследования является определение содержания тяжёлых металлов в воде озёр Хорезмской области и оценка степени их загрязнения на основе результатов лабораторного анализа.

Методы исследования. В 2022 году ежемесячный отбор проб воды из озёр Шуркуль, Янгикадам, Тамирчи, Отботган, Чегара, Сардоба и Эчкиёр проводился в соответствии с методическими указаниями (Семенов, 1977). В пробах воды содержание тяжёлых металлов – меди (Cu), цинка (Zn), свинца (Pb), кадмия (Cd) и шестивалентного хрома (Cr(VI)) определяли атомно-абсорбционным методом. Полученные результаты сравнивались с предельно допустимыми концентрациями (ПДК).

Обсуждение результатов. Исследованные озера находятся в Янгиарьском (Шуркуль), Багатском (Янгикадам и Тамирчи) и Тупраккалинском (Отботган, Чегара, Сардоба и Эчкиёр) районах. Все озера питаются преимущественно коллекторно-дренажными водами.

По результатам анализа, содержание тяжёлых металлов в воде исследуемых озёр Хорезмской области характеризуется значительной изменчивостью. Наиболее высокие значения наблюдались для цинка, концентрации которого варьируют в пределах от 0,94 до 39,7 мг/дм³, особенно в воде озёр Чегара и Эчкиёр. Содержание меди в воде исследуемых озёр изменяется в пределах 0–4,6 мг/дм³, наибольшие значения наблюдались в озёрах Эчкиёр, Шуркуль и Отботган, минимальные значения – в озере Тамирчи. Концентрации свинца варьируются от 0 до 2,74 мг/дм³, наиболее высокие значения наблюдались в озёрах Отботган, Эчкиёр и Янгикадам. Содержание кадмия в воде исследуемых озёр находилось в пределах 0–1,51 мг/дм³, максимальные значения наблюдались в озёрах Эчкиёр и Шуркуль. Концентрации шестивалентного хрома изменяются от 0 до 2,0 мг/дм³. Наиболее высокие значения наблюдались в воде озёр Янгикадам и Тамирчи (таблица 1).

Таблица 1

Содержание тяжёлых металлов в воде исследуемых озёр Хорезмской области, мг/дм³

Озёра	Медь	Цинк	Свинец	Кадмий	Хром (VI)
Шуркул	0-4,4	1,87-29,50	0-2,49	0-1,26	0-0,7
Янгикадам	0,6-3,2	1,66-27,50	0-2,64	0,04-0,31	0-2,0
Тамирчи	0,2-2,8	1,03-20,00	0-2,26	0-0,27	0-2,0
Отботган	0,5-4,0	1,48-16,30	0-3,05	0-0,15	0-0,6
Чегара	0,2-3,1	0,94-39,70	0,08-2,40	0,03-0,23	0-3,8
Сардоба	0,6-3,6	1,51-24,90	0-2,53	0-0,45	0-0,7
Эчкиёр	0,7-4,6	1,19-31,70	0-2,74	0-1,51	0-0,5
ПДК	1,00	5,00	0,03	0,001	0,05

Анализ среднегодового содержания тяжёлых металлов в воде исследуемых озёр Хорезмской области показывает, что наибольшие значения характерны для цинка, содержание которого во всех озёрах значительно выше по сравнению с другими металлами. Максимальные концентрации цинка наблюдались в озёрах Чегара и Янгикадам, меди – в озёрах Шуркуль и Янгикадам, свинца – в озёрах Сардоба и Отботган. Концентрации кадмия и шестивалентного хрома во всех исследуемых озёрах были сравнительно низкими (рис. 1).

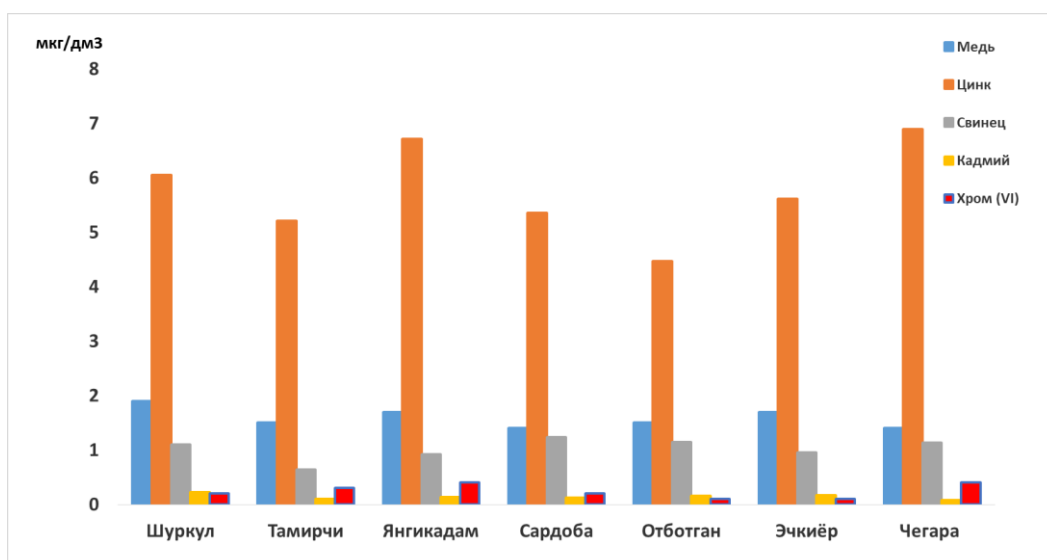


Рис. 1. Среднегодовая концентрация тяжёлых металлов в воде исследуемых озёр Хорезмской области

Оценка степени загрязнённости воды исследуемых озёр Хорезмской области проводилась путём сопоставления среднегодовых концентраций тяжёлых металлов с их предельно допустимыми концентрациями (ПДК). Результаты анализа показали, что содержание меди в воде исследуемых озёр превышает установленное значение ПДК в 1,4–1,9 раза, наибольшее превышение наблюдалось в озере Шуркуль (1,9 раза), в озёрах Чегара и Сардоба концентрации меди превышают норматив в 1,4 раза. Концентрации цинка в большинстве исследуемых озёр также превышают допустимый уровень в 1,1–1,4 раза. Наибольшие значения зафиксированы в озёрах Чегара (1,38 и 1,34 раза). В озере Отботган содержание цинка не превышает установленную норму. Наиболее значительные превышения нормативных значений наблюдаются для свинца. Его концентрации в исследуемых озёрах превышают допустимый уровень примерно в 21–41 раз, что свидетельствует о выраженном загрязнении водной среды данным элементом. Содержание кадмия во всех исследуемых водоёмах также значительно превышает нормативные значения (60–220 раз). Наибольшие концентрации отмечены в озере Шуркуль. Концентрации шестивалентного хрома во всех исследуемых озёрах превышают допустимые значения в 2–8 раз.

Выводы. По результатам проведённого анализа установлено, что содержание тяжёлых металлов в воде исследуемых озёр Хорезмской области характеризуется значительной изменчивостью. Наиболее высокие концентрации среди исследуемых элементов отмечены для цинка. Установлено, что концентрации исследуемых тяжёлых металлов превышают предельно допустимые значения.

Библиографический список:

1. Crootof A., Mullabaev N., Saito L., Atwell L., R.Rosen M., Bekchonova M., Ginatullina E., Scott J., Chandra S., Nishonov B., Lamers J.P.A, Fayzieva D. Hydroecological condition and potential for aquaculture in lakes of the arid region of Khorezm, Uzbekistan. // Journal of Arid Environments. – 2015. – V.117. – P.37-46.
2. Кораблёва А.И. Оценка загрязнения водных экосистем тяжёлыми металлами. // Водные ресурсы. – № 2. – 1991. – 111 с.
3. Семенов А.Д. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 541 с.

© Саттарова Ф.С., Нишонов Б.Э., Разикова И.Р., 2026

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Аннотация. В статье рассматривается система мониторинга геологической среды урбанизированных территорий России: современные подходы к мониторингу, как традиционные наземные измерения, дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) и цифровые технологии наблюдения.. В работе приведён обзор отечественных проектов и инфраструктуры: развитие сетей мониторинга в Москве и других городах для контроля за опасными экзогенными геологическими и контроля состояния и качества подземных вод.

Ключевые слова: мониторинг геологической среды, урбанизация, дистанционное зондирование, оползни, проседание грунтов, подземные воды.

MONITORING OF THE STATE OF THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT OF URBANIZED AREAS

Abstract. The article discusses the system for monitoring the geological environment of urbanized territories of Russia: modern approaches to monitoring, such as traditional ground-based measurements, remote sensing of the Earth (remote sensing) and digital observation technologies.. The paper provides an overview of domestic projects and infrastructure: the development of monitoring networks in Moscow and other cities to control hazardous exogenous geological and control the state and quality of groundwater.

Key words: geological environment monitoring, urbanization, remote sensing, landslides, subsidence of soils, groundwater.

Проблемы техногенной трансформации геологической среды являются одним из острых в настоящее время. Урбанизированные территории наибольшей степени подвергаются техногенезу- перестраивается рельеф, выкачиваются подземные воды, многократно увеличивается физическое воздействие на грунты. Под влиянием интенсивной хозяйственной деятельности человека происходят глубокие изменения её компонентов: рельефа, горных пород, подземных вод и геологических процессов. Современный этап урбанизации характеризуется не только ростом городов в ширину, но и активным освоением подземного пространства, что усиливает глубину техногенной трансформации, которая достигает в сотни метров.

Особенно остро проблема ощущается в крупнейших агломерациях мира, так, по наблюдениям NASA грунты агломерации Мехико проседают со скоростью 20 см/год, по данным съёмки, отдельные районы города с октября 2025 года по январь 2026 года опускались более чем на 20 мм в месяц. (<https://phys.org/news/2026-04-usindian-space-mission-extreme-subsidence.html>)

На территории Российской Федерации постоянный мониторинг за геологической средой осуществляются в городах Москва, Санкт-Петербург и др.

В последние годы система наблюдений за состоянием недр в крупных городах претерпела значительные изменения. Традиционные методы наземных измерений всё чаще дополняются и заменяются высокотехнологичными решениями. Ключевую роль в мониторинге опасных геологических процессов играют методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Так, данные NASA иллюстрируют возможность глобального мониторинга: анализ спутниковых снимков с высоким разрешением позволяет фиксировать просадки земной поверхности с точностью до миллиметра, как в случае с Мехико. В России методы ДЗЗ активно применяются для отслеживания широкого спектра эндогенных и экзогенных процессов, а их верификация и калибровка осуществляются с помощью наземных средств наблюдения.

Активно внедряются и технологии цифрового мониторинга. Например, в Институте земной коры СО РАН (Иркутск) был создан Центр комплексного мониторинга опасных геологических процессов. Пункты наблюдения (как в Бугульдейке, Максимихе и Приольхонье) оснащены широкополосными сейсмическими станциями, GPS-приемниками, станциями магнитотеллурического зондирования, датчиками радона и лазерными дальнометрами. На основе этих данных разрабатывается онлайн-платформа для объединения разрозненных баз данных в единую систему, что является важным шагом к созданию национальной сети мониторинга.

Важным элементом мониторинга остается сеть специализированных пунктов наблюдения за состоянием недр. Так, в Севастополе в декабре 2025 года был введен в эксплуатацию первый в городе пункт государственного мониторинга состояния недр. Скважина глубиной более 600 метров оборудована датчиками, которые ежедневно фиксируют уровень, температуру и электропроводность подземных вод, а также параметры окружающей среды. Аппаратура позволяет фиксировать малейшие колебания земной коры, служа важным инструментом для сейсмического районирования и раннего предупреждения геодинамических событий.

Развитие системы мониторинга в Москве нацелено на решение ключевых проблем мегаполиса — загрязнение подземных вод и неравномерные просадки грунтов. Геоэкологические процессы, характерные для Москвы включают: оползни, карст, суффозию, подтопление, химическое и тепловое загрязнение подземных вод (Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве...», 2023). Для мониторинга экзогенных геологических процессов, например, оползней, создана система автоматизированных наблюдений инклинометрических и гидрогеологических скважины, датчики порового давления. скважин. Результаты изменений состояний оползневых тел визуализируются с помощью специализированных программ (рис.). Для оценки рисков загрязнения артезианских горизонтов разработаны методики вероятностного картирования, основанные на расчетах времени вертикальной миграции загрязняющих веществ и стохастическом моделировании. Особое внимание уделяется картографическому моделированию геологической среды и анализу ее реакции на техногенную нагрузку.



Плановые смещения в период с 2012 по 2022 гг., мм

менее 30	30 - 60	60 - 90	90 - 120	120 - 150	более 150
----------	---------	---------	----------	-----------	-----------

• Деформационный знак



Высотные смещения в период с 2012 по 2022 гг., мм

менее -20	-20 - -10	-10 - 0	0 - 10	более 10
-----------	-----------	---------	--------	----------

• Деформационный знак

Рисунок. Плановое и вертикальное смещение приповерхностной зоны грунтов на оползневом участке Воробьёвы горы за период 2012-2022 гг. (Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве...», 2023)

В Санкт-Петербурге мониторинг сосредоточен на проблемах подтопления территорий, изменении гидрогеологических условий на застроенных территориях и обеспечении устойчивости зданий и сооружений на неустойчивых водонасыщенных грунтах. Основные опасения вызывают техногенные изменения уровня

подземных вод и активизация экзогенных геологических процессов, которые требуют постоянного наблюдения для предотвращения аварийных ситуаций и сохранения исторической застройки (Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге, 2023).

В Республике Башкортостан мониторинг геологической среды состоит из оценки состояния подземных вод и локальные участки ЭГП. Мониторинг состояния подземных вод включает в себя 56 наблюдательных скважин в разных районах республики. Исследования овражной эрозии и оползневых процессов производятся точно – на 4 участках (Государственный доклад о состоянии природных ресурсов..., 2025).

Актуальные проблемы мониторинга связаны не только с отдельными городами, но и с необходимостью создания единой общегосударственной системы. В настоящее время наблюдения за опасными геологическими процессами выполняются разрозненными ведомствами и организациями, а координация между ними практически отсутствует. Создание региональных сетей мониторинга с фоновыми и геотехническими скважинами становится неотъемлемым условием безопасного функционирования северных городов. В этой связи приоритетным направлением государственной политики в области недропользования является цифровая трансформация системы мониторинга, которая позволит не только прогнозировать опасные процессы, но и минимизировать риски для населения и инфраструктуры.

Библиографический список

1. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2024 году. – Уфа, 2025. – 402 с.
2. Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2022 году» / Под ред. А.О. Кульбачевского. – Москва, 2023. – 276 с.
3. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2022 году/ Под редакцией А.В. Германа, И.А. Серебрицкого – СПб.: 2023. – 226.с.
4. <https://phys.org/news/2026-04-usindian-space-mission-extreme-subsidence.html>

© Хасанова Г.Ф., 2026

УДК: 556.332.2 (556.048)

Н.Б. Эрлапасов,
доктор философии по географическим наукам (PhD),
доцент кафедры гидрологии суши и метеорологии,
факультет Физики, НУУз им. Мирзо Улугбека, г. Ташкент

ОЦЕНКА ВКЛАДА ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ФОРМИРОВАНИЕ СТОКА ГОРНЫХ РЕК РАЗНОГО ТИПА ПИТАНИЯ

Аннотация. Статья посвящена вопросам количественной оценки вклада подземных вод в формирование годового стока горных рек разного типа питания. Работа выполнена на примере рек бассейна Сырдарьи. Построены гидрографы годового стока рек за характерные, т.е. многоводные, маловодные и средней по водности годы. Установлено, что вклад подземных вод в годовой сток рек тесно связано с их типом питания.

Ключевые слова: река, сток рек, тип питания, гидрограф, вертикальное расчленение, вклад подземных вод, оценка.

ASSESSING THE CONTRIBUTION OF GROUNDWATER TO THE FORMATION OF RUNOFF FROM MOUNTAIN RIVERS WITH VARIOUS SUPPLY TYPES

Annotation. The article is devoted to the issues of quantitative assessment of the contribution of groundwater to the formation of the annual flow of mountain rivers with different types of feeding. The work was carried out using the example of the rivers of the Syr Darya basin. Hydrographs of annual river runoff were constructed for typical years, i.e. high-water, low-water and average-water years. It has been established that the contribution of groundwater to the annual flow of rivers is closely related to their type of nutrition.

Keywords: river, river flow, type of nutrition, hydrograph, vertical dissection, contribution of groundwater, assessment.

Введение. Известно, что дефицит воды в аридных регионах с каждым годом увеличивается. Поэтому,

сегодня, большое научное и практическое значение имеют вопросы поиска конкретных решений гидрологических проблем, связанных с количественной оценкой источников питания рек и эффективным использованием их водных ресурсов. В связи с этим, сегодня проблемы оценки вклада подземных вод в формирование годового стока рек в условиях Узбекистана являются одним из наиболее **актуальных** вопросов.

Изучением условий формирования стока горных рек и усовершенствованием методов их количественной оценки занимались многочисленные ученые дальнего зарубежья (Thomas C.Winter, Judson W.Harvey, Lehn O. Franke, William M.Alley и др.). Исследования ученых бывшего Союза и стран СНГ (Э.М.Ольдекоп, М.И.Львович, Л.К.Давыдов, К.П.Воскресенский, М.Н.Большаков, Е.М.Козик, Г.П.Калинин, Т.С.Абальян, А.Н.Важнов, А.М.Гареев и др.) направлены на изучение процессов питания рек за счет различных источников, генетическому анализу их стока, использованию результатов исследования по количественной оценке стока рек в соответствующих секторах экономики, в частности, в водном хозяйстве и гидроэнергетике. В Узбекистане вопросами оценки источников питания рек занимались В.Л.Шульц, О.П.Щеглова, З.В.Джорджио, В.Е.Чуб, Г.Е.Глазырин, Э.И.Чембарисов, Ф.Х.Хикматов и другие [1, 3, 5, 6, 7].

Основной **целью** данного исследования является количественная оценка вклада подземных вод в формирование годового стока рек Сох, Чаткал, Угам и Ахангаран, имеющих большое значение в экономике и жизни населения стран региона. В связи с этим, **объектом исследования** являются реки разного типа питания, а **предметом исследования** – количественная оценка вклада подземных вод в формирование их годового стока.

Для достижения этой цели были поставлены следующие **задачи**: 1) собрать данные по суточным, месячным и годовым расходам воды, измеренным на гидрологических постах Агентства центра гидрометеорологической службы Республики Узбекистан – Узгидромета; 2) на основе этих данных построены гидрографы исследуемых рек за характерные по водности годы; 3) оценить вклад подземных вод в годовой сток рек разного типа питания.

Основные результаты и их обсуждение. По классификации В.Л.Шульца реки Средней Азии по источникам питания делятся на следующие типы: 1) реки ледниково-снегового; 2) реки снегово-ледникового; 3) реки снегового; 4) реки снегово-дождевого типов питания [5]. По настоящее время количественная оценка вклада этих источников питания рек является довольно сложной задачей. Во-первых, этот вопрос связан с точностью определения количества осадков, выпавших на поверхность речных бассейнов реки и водностью снежного покрова, накопленного в бассейнах рек за зиму. Во-вторых, определенное количество дождевых и талых снеговых вод попадает в русло реки в виде поверхностного стока. Оставшаяся часть поглощается под землей, а через определенный промежуток времени они также поступают в виде грунтовых вод [5, 7].

Количество воды вышеперечисленных источников и поступающей в русло рек, у водотоков разного типа питания имеют различные значения. Они варьируют по сезонам, в основном, в зависимости от гидрометеорологических условий бассейнов рек [6, 7].

Определены, для всех изучаемых рек, характерные по водности годы, т.е. многоводные, средние по водности и маловодные годы. Построены гидрографы стока рек за выявленные характерные годы (рис. 1).

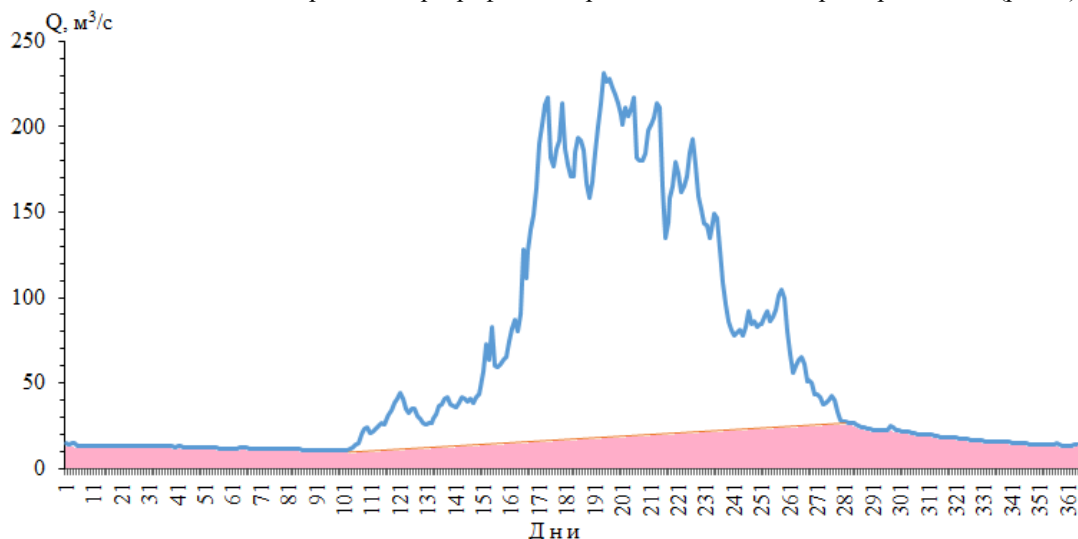


Рис. 1. Гидрограф реки Сох, многоводный 1988 год

Произведена количественная оценка вклада подземных вод в формирование годового стока рек. При этом применен метод вертикального расчленения годового гидрографа. Расчеты выполнены как для базового (БКП), так и текущего (ТКП) климатических периодов. Вклады подземных вод в формирование годового стока рек оценены в абсолютных (10^6 м^3) и относительных (в %) величинах.

Вклад подземных вод в формирование стока реки Сох, которая относится к ледниково-снеговому типу питания, в многоводном 1988 году базового климатического периода (БКП) составил 27,9%. В средней по

водности 1969 году этот показатель составил 34,1%. Вклад подземных вод в маловодном 1972 году увеличился до 42,5% относительно годового объема стока реки Сох (табл. 1).

Таблица 1

Вклад подземных вод в формирование годового стока рек разного типа питания за характерные по водности годы

Характерные по водности годы	$Q_{г}$, м ³ /с	$W_{г}$, 10 ⁶ м ³	Вклад подземных вод	
			$W_{пв}$, 10 ⁶ м ³	$W_{пв}$, %
<i>Река Сох – Сарыканда, ледниково-снеговой тип питания</i>				
БКП (1961-1990 гг.)				
Многоводный 1988 год	58,2	1836	512,6	27,9
Средний по водности 1969 год	43,7	1378	469,4	34,1
Маловодный 1972 год	31,8	1003	426,6	42,5
ТКП (1991-2020 гг.)				
Многоводный 2007 год	60,7	1915	597,5	31,2
Средний по водности 2015 год	50,8	1602	464,3	28,9
Маловодный 1996 год	42,5	1340	468,9	34,9
<i>Река Чаткал – Худойдотсай, снегово-ледниковый тип питания</i>				
БКП (1961-1990 гг.)				
Многоводный 1969 год	209,0	6591,9	2056,7	31,2
Средний по водности 1984 год	104,9	3308,5	1223,8	36,9
Маловодный 1982 год	61,7	1946,0	1091,3	56,1
ТКП (1991-2020 гг.)				
Многоводный 2017 год	203,4	6415,24	1939,7	30,3
Средний по водности 2006 год	145,2	4579,6	1573,8	34,4
Маловодный 2008 год	85,8	2706,1	1390,9	51,4
<i>Река Угам – Ходжикент, снеговой тип питания</i>				
БКП (1961-1990 гг.)				
Многоводный 1969 год	43,6	1374	442,1	32,2
Средний по водности 1976 год	21,5	676,6	282,7	41,8
Маловодный 1974 год	14,3	449,4	233,5	51,9
ТКП (1991-2020 гг.)				
Многоводный 1998 год	36,4	1149	388,6	33,7
Средний по водности 2012 год	23,4	739,2	252,6	34,1
Маловодный 2008 год	15,5	487,2	242,1	49,7
<i>Река Ахангарон – Ерташ, снегово-дождевой тип питания</i>				
БКП (1961-1990 гг.)				
Многоводный 1969 год	55,5	1775,34	476,3	26,8
Средний по водности 1980 год	20,6	649,7	216,9	33,4
Маловодный 1974 год	9,04	285,3	142,6	49,9
ТКП (1991-2020 гг.)				
Многоводный 1994 год	38,0	1198,5	274,4	22,9
Средний по водности 2004 год	20,8	656,0	227,1	34,6
Маловодный 2015 год	10,9	343,8	169,4	49,2

Примечание: $Q_{г}$ – средний годовой расход воды; $W_{г}$ – годовой объем стока; $W_{пв}$ – вклад подземных вод в годовой сток рек.

В многоводном 2007 году текущего климатического периода (ТКП) вклад подземных вод в формирование годового стока реки Сох составил 31,2%, а в средний по водности 2015 году – 28,9%. В маловодном 1996 году вклад подземных вод в формирование годового стока данной реки составил 34,9% (табл. 1).

Вклад подземных вод в формирование стока реки Чаткал в многоводном 1969 году базового климатического периода (БКП) составил 31,2%, а в среднем по водности 1984 году его значение было равно 36,9%. В маловодном 1982 году вклад подземных вод в формирование стока этой реки был несколько выше, чем другие характерные годы и составил 56,1%. Аналогичные результаты по расчету вклада подземных вод в годовой сток также получены для рек Чаткал и Ахангарон.

Произведен анализ результатов оценки вклада подземных вод в сток рек на примере характерных лет БКП и ТКП. В многоводные годы в обоих расчетных климатических периодах вклады подземных вод в сток рек снегового типа питания характеризуются наибольшими (34,3% и 38,6%) значениями. Выявлена зависимость вкладов подземных вод от средних высот речных бассейнов ($H_{ср}$) и получены уравнения регрессии этих связей. Произведена статистически оценена их точности.

Выводы. Выполнена оценка вкладов подземных вод в формирование годовой сток рек разного типа питания в абсолютных и относительных величинах. В маловодные годы, вклад подземных вод в годовой сток рек ледниково-снегового типа питания составил в среднем 40,6%, в многоводные годы – 31,0%, а в средние по водности годы – 35,9%. В реках снегово-ледникового типа питания эти значения составляли, соответственно, в среднем 33,9%, 37,2% и 49,9%.

Вклады подземных вод в годовой сток рек снегового типа питания, в многоводные годы колеблются в пределах 28,7÷46,1%, в средние по водности годы – 31,1÷54,8%, а в маловодные годы – 47,7÷64,1%. Доля подземных вод в годовой сток рек снегово-дождевого типа питания изменялись в пределах 28,0÷43,6% в многоводные годы, 35,2÷47,8% – в средние по водности годы и 46,4÷50,5% - в маловодные годы.

Библиографический список

1. Глазырин Г.Е., Хикматов Ф.Х., и др. Методика исследования гидрологического режима горных рек (на примере р.Угам). – Ташкент: «Fan va texnologiya», 2016. – 172 с.
2. Калинин Г.П., Абалян Т.С. Об определении подземного питания рек // Метеорология и гидрология, № 5, 1957. – С. 184–187.
3. Куделин Б.И. Гидрогеологический анализ и методы определения подземного питания рек // Труды Лабор. гидрогеол. проблем им. Ф.П.Саваренского АН СССР. Т. V, 1949. – 179 с.
4. Попов О.В. Подземное питание рек. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 292 с.
5. Шульц В.Л. Реки Средней Азии. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – 695 с.
6. Щеглова О.П. Питание рек Средней Азии. – Ташкент: Изд-во СаГУ, 1960. – 243 с.
7. Эрлапасов Н.Б. Особенности питания горных рек за счет подземных вод. Автореферат диссертации ... доктора философии (PhD) по географическим наукам. – Ташкент, 2022. – 48 с.

© Эрлапасов Н.Б., 2026

При подготовке электронного издания использовались следующие программные средства:

- Adobe Acrobat – текстовый редактор;
- Microsoft Word – текстовый редактор.

Все права защищены. Книга или любая ее часть не может быть скопирована, воспроизведена в электронной или механической форме, в виде фотокопии, записи в память ЭВМ, репродукции или каким-либо иным способом, а также использована в любой информационной системе без получения разрешения от издателя. Копирование, воспроизведение и иное использование книги или ее части без согласия издателя является незаконным и влечет уголовную, административную и гражданскую ответственность.

Научное издание

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ГЕОЛОГИИ И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ МИРА**

Сборник статей

*V Международной научно-практической конференции
(г. Уфа, 2–3 апреля 2026 г.)*

Электронное издание сетевого доступа

*За достоверность информации, изложенной в статьях,
ответственность несут авторы.*

Статьи публикуются в авторской редакции

Подписано к использованию 09.06.2026 г.
Гарнитура «Times New Roman». Объем 14,49 Мб.
Заказ 93.

*ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
450008, Башкортостан, г. Уфа, ул. Карла Маркса, 12.*

Тел.: +7-908-35-05-007
e-mail: ric-bdu@yandex.ru