

УДК 574.4 (571.56-13)

## ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМ ЮГО-ВОСТОКА ЯКУТИИ (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ УСТЬ-МАЙСКОГО РАЙОНА)

**П. П. Данилов, М. И. Ксенофонтова\*, И. Г. Собакина,  
А. Г. Попова, В. С. Макаров**

Научно-исследовательский институт прикладной экологии Севера  
им. проф. Д. Д. Саввина СВФУ им. М. К. Аммосова (пр. Ленина, 43, Якутск,  
Республика Саха (Якутия), Россия, 677980), \*ksemaria@mail.ru

Приведены результаты комплексных исследований современного состояния наземных и водных экосистем юго-востока Якутии на примере территории Усть-Майского района республики. В почвенном покрове исследуемого района установлена вертикальная зональность с преобладанием мерзлотных подбров и слаборазвитых почв, выявлены высокие концентрации тяжелых металлов, превышающие гигиенические нормативы, в том числе элементов первого класса опасности: ртути, цинка и свинца. Поверхностные воды исследуемых водотоков данной территории характеризуются малой минерализацией с нейтральной и слабощелочной средой, с преобладанием в ионном составе гидрокарбонатов, кальция и магния. В исследованных водах отмечены превышения нормативов ПДК для рыбохозяйственных целей по железу, меди, алюминию и ртути, что связано не только с природными особенностями района, но и с влиянием добычи полезных ископаемых. Состав техногенных вод хвостохранилищ поселков Аллах-Юнь и Звездочка показывает повышенные уровни свинца, ртути и кадмия. Анализ донных отложений выявил локальное накопление марганца, цинка, свинца и кобальта в природных водотоках, а также ртути в техногенных водоемах. В таких условиях исследование зоопланктона указало на его угнетенное состояние. В целом для данного района возникает необходимость проведения долгосрочного мониторинга для оценки источников загрязнения и их воздействия на экосистемы. Особое внимание предлагается уделить заброшенным гидротехническим сооружениям поселков Аллах-Юнь и Звездочка, которые рекомендовано включить в ГРОНВОС для разработки мер по снижению экологического риска.

**Ключевые слова:** почвы; донные отложения; поверхностные воды; зоопланктон; р. Аллах-Юнь; р. Мая; р. Алдан; тяжелые металлы; Юго-Восточная Якутия

Для цитирования: Данилов П. П., Ксенофонтова М. И., Собакина И. Г., Попова А. Г., Макаров В. С. Характеристика современного состояния экосистем юго-востока Якутии (на примере территории Усть-Майского района) // Труды Карельского научного центра РАН. 2025. № 8. С. 5–19. doi: 10.17076/eco2061

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания НИИПЭС СВФУ (№ FSRG-2023-0011).

**P. P. Danilov, M. I. Ksenofontova\*, I. G. Sobakina, A. G. Popova,  
V. S. Makarov. CHARACTERISTICS OF THE CURRENT STATE OF  
ECOSYSTEMS IN SOUTH-EAST YAKUTIA (UST-MAISKY DISTRICT CASE  
STUDY)**

*Savvinov Institute of Applied Ecology of the North after named prof. D. D. of the North-Eastern Federal University (43 Lenina Ave., 677980 Yakutsk, Sakha Republic (Yakutia), Russia), \*ksemaria@mail.ru*

The article presents the results of comprehensive studies of the current state of terrestrial and aquatic ecosystems in southeastern Yakutia, with the Ust-Maisky District of the Republic of Sakha (Yakutia) as the case study. The soil cover of the study area is characterized by vertical zonality with a predominance of permafrost Leptosols and Podzols, and high heavy metal concentrations, exceeding health standards, including elements of the first hazard class: mercury, zinc, and lead. The surface waters of watercourses surveyed in this area feature a low total dissolved solids content, neutral to weakly alkaline pH, and a predominance of bicarbonates, calcium, and magnesium in their ionic composition. Iron, copper, aluminum, and mercury levels in the water exceeded maximum permissible concentrations for fishery waterbodies, not only due to the natural features of the area but also under the mining impact. Industry-generated water in the tailings dumps at the villages of Allah-Yun and Zvezdochka contained elevated levels of lead, mercury, and cadmium. Analysis of bottom sediments revealed local accumulation of manganese, zinc, lead, and cobalt in natural watercourses, as well as mercury in man-made water bodies. In this context, the zooplankton community was found to be inhibited. In general, this area requires long-term monitoring to assess the pollution sources and their impact on the ecosystems. Particular attention should be given to abandoned hydraulic engineering facilities in the villages of Allah-Yun and Zvezdochka, with a recommendation to include them in the State Register of Accumulated Environmental Damage in order to develop measures to reduce environmental risks.

**Keywords:** soils; bottom sediments; surface waters; zooplankton; Allah-Yun River; Maya River; Aldan River; heavy metals; southeastern Yakutia

For citation: Danilov P. P., Ksenofontova M. I., Sobakina I. G., Popova A. G., Makarov V. S. Characteristics of the current state of ecosystems in southeastern Yakutia (Ust-Maisky District case study). *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2025. No. 8. P. 5–19. doi: 10.17076/eco2061

**Funding.** The study was funded from the Russian federal budget through state assignment to the Savvinov Institute of Applied Ecology of the North NEFU (FSRG-2023-0011).

## **Введение**

Изучаемая территория юго-востока Якутии в пределах Усть-Майского муниципального района РС (Я) ( $60^{\circ}29' с. ш.$   $137^{\circ}38' в. д.$ ) расположена в правобережной части среднего течения р. Алдан. Район представляет собой уникальную территорию Юго-Восточной Якутии с богатым природным потенциалом, но при этом подвержен значительным антропогенным (техногенным) воздействиям.

В орографическом отношении район исследования представлен преимущественно горными ландшафтами – хребтами Скалистый, Сетте-Дабан, Кыллахский, Улахан-Бом, а также Учуро-Майским нагорьем с абсолютными высотами водоразделов от 1000 до 2000 м, при

относительных превышениях над днищами долин от 400 до 800 м. Слоны водоразделов крутые, от  $18$  до  $35^{\circ}$ . Здесь распространены среднетаежные лиственничные леса. Крупным водным объектом является р. Алдан с притоками р. Мая (с притоком р. Юдома) и р. Аллах-Юнь. Из-за сложной транспортной логистики в настоящее время эта территория слабо изучена в экологическом отношении.

Известно, что Усть-Майский район – один из центров добычи золота в Республике Саха (Якутия). Крупной золотоносной провинцией данной территории является бассейн р. Аллах-Юнь, где проявляются рудные и россыпные месторождения золота. Анализ золотоносности рудных объектов Аллах-Юньского горнорудного района показывает комплексный характер оруденения.

Наряду с профилирующим элементом Au в рудах попутно встречаются Ag, Bi, Te, Se, Mo, U и редкоземельные металлы (REE). Кроме традиционного кварцевожильного оруденения имеет широкое распространение прожилково-вкрашенное и вкрашенное оруденение минерализованных зон дробления [Кондратьева и др., 1999; Анисимова и др., 2001]. Россыпные месторождения приурочены в основном к четвертичным отложениям. Изучение золотоносности среднего течения р. Аллах-Юнь началось в 1932 г. Уже в первые годы были открыты промышленные россыпи в правобережных притоках р. Аллах-Юнь, в 1934–1940 гг. в районе открыты новые россыпи в долинах ручьев Минор, Ыныкчан, Коро, Задержная. В 1960–1980-е годы в Аллах-Юньской металлогенической зоне разведано рудное золото и построены три фабрики по его обогащению.

В настоящее время на территории Аллах-Юньского золотоносного пояса расположено более 40 лицензионных участков, в том числе артели «Поиск» п. Аллах-Юнь, «Дражник» п. Звездочка, «Золото Ыныкчана» п. Солнечный, «Бриндакит» п. Бриндакит, рудник «Дуэт» п. Югоренок, «Заря +М» п. Ыныкчан и др. (рис. 1), которые оказывают значительное негативное воздействие на окружающую среду района исследования.

Государственный мониторинг качества поверхностных вод на изучаемой территории выполняется Якутским УГМС в двух точках наблюдения: 0,5 км выше и ниже п. Усть-Мая. ГБУ РИАЦЭМ по РС (Я) также проводит постоянный экологический мониторинг качества сред по поверхностным водам. То есть такие компоненты экосистемы, как почва, донные отложения, гидробионты, не входят в ежегодный план экологического мониторинга.

Анализ литературных данных показывает, что исследования бассейна р. Аллах-Юнь носят в основном фрагментарный характер. В целом аналитическим обзором выявлено, что поверхностные воды района исследования характеризуются низкой минерализацией, нейтральной средой и мягкой водой с преобладанием гидрокарбонатов и кальция в ионном составе. Большинство нормируемых показателей не превышают нормативы по гигиене и для рыбохозяйственных целей, однако выявлено превышение ПДК для рыбохозяйственных целей (далее ПДКр/х) нефтепродуктов, фенолов, органических и взвешенных веществ, а также обнаружены следы ртути в устье р. Аллах-Юнь [Охлопков, Пестрякова, 2011].

Проведенные ранее гидробиологические исследования выявили значительные различия в количественных и качественных показателях

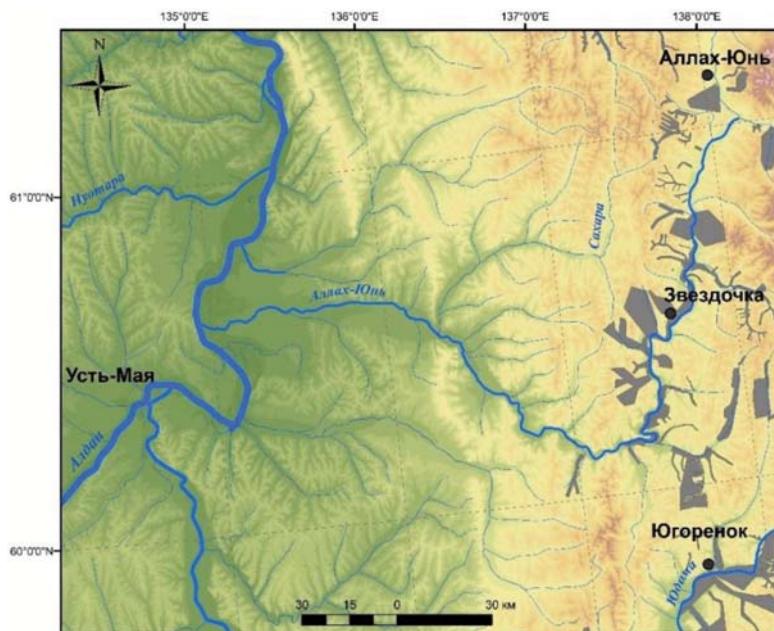


Рис. 1. Карта-схема местонахождений лицензионных (техногенно преобразованных) участков (выделены серым цветом) в бассейне среднего течения р. Аллах-Юнь

Fig. 1. Schematic map of locations of licensed (technogenically transformed) areas (highlighted in gray) in the middle reaches of the Allah-Yun River basin

зоопланктона между средним и верхним течениями р. Алдан, а также сокращение видового разнообразия, биомассы и численности зообентоса, особенно в реках Аллах-Юнь и Мая. Кроме того, населенные пункты вносят вклад в загрязнение воды органическими веществами, что подтверждается развитием нематод и олигохет. Основными загрязнителями в бассейне р. Аллах-Юнь выступают соединения цинка, меди, органических и взвешенных веществ, причем их концентрации увеличиваются вниз по течению. Комплексная оценка загрязненности воды, рассчитанная с помощью комбинаторного индекса, указывает на высокий уровень загрязнения по некоторым показателям, что свидетельствует о напряженной экологической обстановке в регионе, обусловленной влиянием золотодобывающей промышленности [Салова, Николаева, 2015].

По литературным данным, фаунистический состав зоопланктона среднего течения р. Алдан в пределах Усть-Майского района состоял из 21 вида: 14 видов ветвистоусых, 4 – веслоногих ракообразных и 3 – коловраток [Кириллов и др., 2009]. В зоопланктоне ниже устья р. Аллах-Юнь обнаружена лишь группа ветвистоусых раков (80 экз./м<sup>3</sup> при биомассе 34 мг/м<sup>3</sup>). В зоопланктоне р. Мая встречены *Bosmina longirostris*, *Acroperus harpae*, *Chydorus sphaericus*, *Alona affinis*, *Mesocyclops leuckarti* и представители сем. Cyclopidae IV-V копеподитных стадий развития. Средняя численность составляла 220 экз./м<sup>3</sup> при биомассе 13,4 мг/м<sup>3</sup>. Максимальные значения зоопланктона отмечены в р. Алдан выше п. Усть-Мая (360 экз./м<sup>3</sup> и 24 мг/м<sup>3</sup>). На участках среднего течения у поселков Эльдикан и Кюпцы количественные показатели зоопланктона увеличивались (320–360 экз./м<sup>3</sup> и 13,2–14,1 мг/м<sup>3</sup>), доминировали придонные ветвистоусые раки *Pleuroxus aduncus*, *A. harpae*, *Ch. sphaericus*, *B. longirostris*, *A. affinis* [Кириллов и др., 2009].

Таким образом, представляется актуальным проведение комплексных экологических исследований, включающих изучение почвенно-го покрова, донных отложений, поверхностных вод и гидробионтов.

Целью данной работы является оценка современного состояния наземных и водных экосистем Усть-Майского района РС (Я).

## Материалы и методы

Химико-аналитические работы проведены в лаборатории физико-химических методов анализа НИИПЭС СВФУ методами потенциометрии, титриметрии, фотометрии, капиллярного

электрофореза, атомно-абсорбционной спектрометрии, флуориметрии, гравиметрии. Отбор проб поверхностных вод производился согласно ГОСТ Р 51592-2000 «Вода. Общие требования к отбору проб», донных отложений – по ГОСТ 17.1.5.01-80 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность», почв – в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-2017 «Общие требования к отбору проб». Сбор и обработка проб зоопланктона проводились по общепринятым в гидробиологии методикам [Балушкина, Винберг, 1979; Методические..., 1982; Абакумов, 1983; Андроникова, 1996].

Для определения качества воды исследованных водотоков использованы нормативы ПДКр/х согласно Приказу Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. № 552 [Приказ..., 2016]. В связи с отсутствием нормативов предельно-допустимых концентраций в донных отложениях для определения качества использован локальный геохимический фон, который рассчитан для подвижных форм микроэлементов с экстракцией ацетатно-аммонийным буферным раствором при pH 4,0, а также для валовой формы ртути. Для определения качества исследованных почв использованы нормативы ПДК для подвижных форм микроэлементов согласно СанПин 1.2.3685-21 [Постановление..., 2021].

Всего отобрано 20 образцов поверхностных вод и зоопланктона, 17 проб донных отложений, 13 проб почв. Карта-схема местонахождений отбора комплексных проб приведена на рис. 2.

## Результаты и обсуждение

Объектами исследования являлись почвы, поверхностные воды, донные отложения и зоопланктонные сообщества.

**Почвы.** Согласно почвенно-географическому районированию Якутии [Атлас..., 1989] участок исследований в пределах среднего и верхнего течения р. Аллах-Юнь относится к гольцово-тундровому почвенному району Верхоянской горно-гольцово-тундрово-таежной почвенной провинции северной тайги. Здесь подбуры являются зональными типами почв.

В условиях Усть-Майского района эти почвы маломощны из-за особенностей геологического строения, климата и других факторов и имеют специфические природные особенности. Гранулометрический состав легкосуглинистый, реакция среды колеблется от нейтральной до слабощелочной, содержание органического углерода очень высокое с бимодальным профильным распределением.

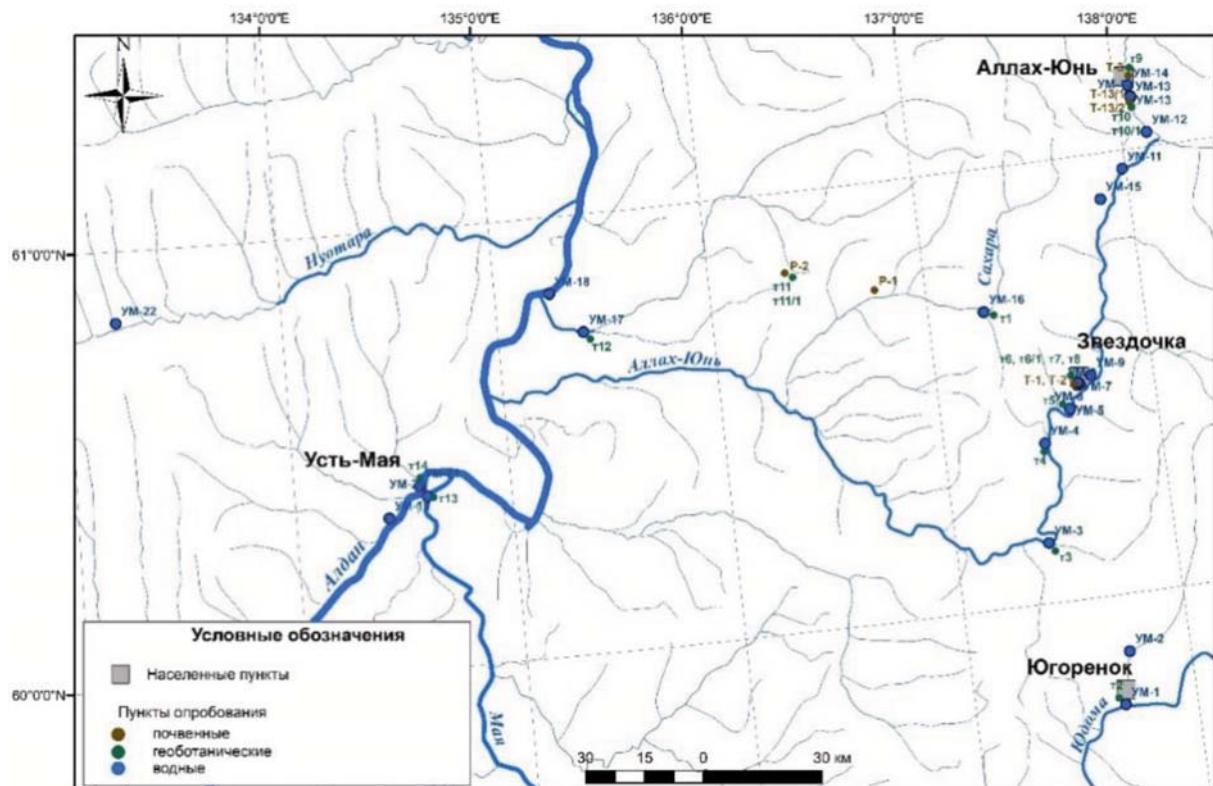


Рис. 2. Карта-схема местонахождений пунктов отбора комплексных проб с компонентов водных и наземных экосистем района исследований

Fig. 2. Schematic map of locations of sampling points for complex samples from the components of aquatic and terrestrial ecosystems of the study area

В верхних горизонтах (лесной подстилке) отмечено высокое содержание подвижной формы марганца, иногда превышающее установленные санитарно-гигиенические нормативы ПДК, а также зафиксировано высокое содержание подвижной формы цинка, что, скорее всего, связано с техногенным воздействием.

Выше по рельефу эти типичные подбуры сменяются подбурами оподзоленными, которые еще выше сменяются маломощными мерзлотными слаборазвитыми (примитивными) каменистыми почвами, при определенных условиях и высотах постепенно переходящими в гольцовую зону. В естественных долинно-речных ландшафтах распространены комплексы типов мерзлотных аллювиальных почв. Изученные аллювиальные почвы района исследования имеют рыхлопесчаный гранулометрический состав, реакция среды относится к слабощелочной градации по всему профилю. Такое равномерное профильное распределение наблюдается для органического углерода и азота. При этом зафиксирована аккумуляция подвижного фосфора в нижних горизонтах. В микроэлементном составе наблюдается аналогичная аккумуляция подвижной формы цинка,

которая превышает установленные санитарно-гигиенические нормативы. Таким образом, в исследуемом районе в естественных природных условиях ярко проявляется вертикальная зональность почв в соответствии с изменением климата, растительности, материнских горных пород и других условий почвообразования.

В рамках проводимых рекогносцировочных эколого-почвенных исследований в данном районе в 2024 г. изучались техногенно нарушенные и преобразованные земли, которые сформировались в результате открытой добычи золота. Поэтому основное внимание было уделено механическому нарушению и преобразованию почв и почвенного покрова.

Известно, что степень и характер антропогенного влияния определяются содержанием геологоразведочного процесса на стадии поисков месторождений, инженерно-технологическими условиями их эксплуатации, созданием инфраструктуры жизнеобеспечения и др. В результате этого неизбежно преобразованы и уничтожены значительные площади естественного почвенного покрова в основном долинно-речных ландшафтов р. Аллах-Юнь (рис. 3).



Рис. 3. Общий вид техногенно преобразованных участков долинно-речных ландшафтов бассейна среднего течения р. Аллах-Юнь

Fig. 3. General view of technogenically transformed areas of valley-river landscapes of the middle reaches of the Allah-Yun River basin

Наружение земель представляет собой не только механическое воздействие на почвенный покров, обусловленное открытыми и закрытыми разработками полезных ископаемых, строительными, геологоразведочными и другими работами, но и опосредованное загрязнение природных почв различными поллютантами. В результате независимо от происхождения (генезиса) почв, направления почвообразования происходит трансформация их свойств и составов.

Наруженные земли района исследования можно разделить по степени воздействия на площадные, локальные и линейные. К площадным на этой территории относим ранее разработанные и разрабатываемые здесь дражные полигоны и другие объекты, которые занимают десятки квадратных километров. Локально наруженные земли представлены заброшенными хвостохранилищами, установками обогащения и другими объектами ранее проведенных геологоразведочных и добывочных работ. На этих участках поверхность почвенного покрова иногда захламлена металлом и другими отходами производства. К линейным относятся автодороги, линии электропередачи и другие объекты.

В настоящее время на этих наруженных участках почвенный покров отсутствует или относится к существенно преобразованному, так как генетические горизонты почв не выделяются. По результатам анализа в исследованных почвах и почвогрунтах наблюдается накопление химических элементов первого класса опасности – свинца, ртути и цинка, превышающее установленные санитарно-гигиенические нормативы до 16 раз (табл. 1). Кроме этого,

зафиксированы высокие концентрации никеля, кобальта и меди (химические элементы 2 класса опасности – «высокоопасные»), превышающие установленные санитарно-гигиенические нормативы до 3,7 раза.

На основе полученных данных эти почвогрунты можно отнести к группе токсифабрикаторов техногенных поверхностных образований [Шишов и др., 2004], на которых без специальных дезактивационных мероприятий длительное время невозможно выращивание сельскохозяйственных и лесных культур, а также возобновление естественной растительности.

**Поверхностные воды.** Изучение гидрохимического состава водных объектов района исследования имеет важное значение для оценки их экологического состояния и установления основных источников загрязнения. В 2024 г. гидрохимическое опробование на территории исследования проведено в реках Алдан, Мая, Юдома, Аллах-Юнь, Домбра, Сахара, Ундээн, а также в техногенных водоемах.

Химический состав воды р. Алдан на территории юго-востока Якутии исследован на участках ниже п. Эльдикан, выше с. Петропавловск и ниже устья р. Мая. В период исследований состав воды характеризовался малой минерализацией со слабощелочной и щелочной средой, ионный состав воды по классификации О. А. Алекина [1953] – преимущественно гидрокарбонатного класса группы кальция. Показатель цветности достигал 37 градусов, концентрация взвеси ниже 5 мг/л, величина ХПК 13 мг/л.

В результате проведенных исследований зафиксированы превышения нормативов ПДКр/х

Таблица 1. Содержание подвижных форм микроэлементов, а также валовой формы ртути в техногенных поверхностных образованиях бассейна р. Аллах-Юнь

Table 1. The content of mobile forms of microelements, as well as the gross form of mercury in technogenic surface formations of the Allah-Yun River basin

Показатель Parameter	ПДК*, мг/кг MAC*, mg/kg	Техногенные поверхностные образования заброшенного хвостохранилища «Джугдурзолото» Man-made surface formations of the abandoned tailings dump 'Dzhugdzhurzoloto'		Техногенные поверхностные образования шлифо-обогатительной установки «Джугдурзолото» в п. Звездочка Man-made surface formations of the grinding and concentration plant (GCP) 'Dzhugdzhurzoloto' in the village of Zvezdochka			
№ пункта наблюдения Observation point no.		T-13/2-24		T-1-24		T-2-24	
Глубина опробования, см Sampling depth, cm		0–10	10–20	0–10	10–20	0–10	10–20
Zn (1**)	23	<b>59,9</b>	<b>38,5</b>	0,8	3,4	3,9	<b>25,0</b>
Hg (1)	2,1	<b>34,800</b>	<b>7,800</b>	0,014	0,028	н/о	н/о
Ni (2)	4	<b>12,60</b>	<b>5,60</b>	0,63	0,82	0,68	0,53
Cd (2)	-	0,17	0,11	0,05	0,05	0,12	0,03
Pb (1)	6	<b>6,2</b>	5,3	<b>8,6</b>	<b>11,1</b>	2,3	2,1
Co (2)	5	<b>6,0</b>	4,2	0,7	0,7	1,2	0,3
Cr (2)	-	0,8	0,7	0,3	0,3	0,2	0,2
Cu (2)	3	<b>11,1</b>	<b>7,4</b>	1,6	1,8	1,4	0,8
Mn (3)	700	454	520	218	234	306	120
Fe	-	628	601	443	469	332	342

Примечание. \*В соответствии с СанПин 1.2.3685-21; \*\*в скобках указаны классы опасности химических элементов; полужирным выделены превышения нормативов ПДК.

Note. \*In accordance with SanPiN 1.2.3685-21; \*\*hazard classes of chemical elements are given in parentheses; values exceeding the maximum allowable concentration (MAC) standards are given in bold.

по ряду показателей на различных участках р. Алдан. В пункте наблюдения ниже п. Эльдикан выявлены превышения по железу в 2,9 и по меди в 1,9 раза; выше с. Петропавловск – по алюминию в 1,9, по железу в 2, по меди в 2,5 раза, а ниже устья р. Мая – по алюминию в 2,4 раза.

Химический состав воды р. Мая в период исследования характеризовался малой минерализацией со слабощелочной средой, преимущественно гидрокарбонатно-кальциево-магниевого состава. Содержание взвешенных веществ ниже 5 мг/л, цветность воды составляла 17,4 градуса, ХПК 7 мг/л. Выявлены превышения нормативов ПДКр/х по ртути в 6,3, по алюминию в 1,8, по железу в 1,5 и по меди в 1,9 раза.

В р. Юдома вода в период исследования имела малую минерализацию со слабощелочной средой, в ионном составе воды отмечалось доминирование гидрокарбонатов, сульфатов и кальция. Концентрация взвеси составляла 10,8 мг/л, показатель цветности достигал 49,5 градуса, ХПК ниже 5 мг/л. Превышения нормативов ПДКр/х выявлены по алюминию в 6,4, по железу в 2 и по меди в 1,3 раза.

Химический состав воды р. Домбра в период исследования также характеризовался малой минерализацией, но с нейтральной средой. Ионный состав – преимущественно гидрокарбонатного класса группы кальция и магния. Показатель цветности в исследованной воде достигал 14,8 градуса, содержание взвеси ниже 5 мг/л, ХПК 9 мг/л. Превышение нормативов ПДКр/х характерно только для меди – в 1,3 раза.

Вода р. Сахара в период исследования имела среднюю минерализацию с щелочной средой с доминированием в ионном составе гидрокарбонатов и кальция. Концентрация взвеси довольно высокая и составляла 1171 мг/л, показатель цветности также выше, чем в других водотоках, и равен 97 градусам, величина ХПК до 14 мг/л. Превышения нормативов ПДКр/х установлены для меди и железа в 1,8 и 2 раза соответственно.

Вода р. Ундээкэн в период исследования характеризовалась малой минерализацией с щелочной средой преимущественно гидрокарбонатно-кальциевого состава. Содержание взвеси и величина ХПК ниже 5 мг/л, показатель

цветности достигал 9,9 градуса. Превышение нормативов ПДКр/х было характерно только для железа – в 1,7 раза.

Дополнительно опробован руч. Безымянный (правый приток р. Аллах-Юнь) по автодороге Аллах-Юнь – Звездочка, где наблюдался грязевой поток. Вода в этот период характеризовалась средней минерализацией с щелочной средой. Цветность воды достигала 177 градусов, ХПК 32 мг/л. Ионный состав воды преимущественно гидрокарбонатно-сульфатного класса группы кальция. Превышения нормативов ПДКр/х установлены по алюминию в 9,7, по железу в 17,6, по марганцу в 5,2 и по меди в 6,8 раза.

Более детально на данном участке исследована р. Аллах-Юнь (длина 586 км, площадь водосборного бассейна 24 200 км<sup>2</sup>), где сосредоточены золотоносные месторождения. Данный водоток вытекает из оз. Ампарынду в горах к юго-востоку от Верхоянского хребта на границе Хабаровского края и Якутии, далее течет по северо-западной окраине Юдомо-Майского нагорья. Имеет глубокую и узкую долину, в низовье выходит на равнину и приобретает спокойный характер. Высота истока составляет 1074 м над ур. м., высота устья – 146 м над ур. м.

В целом в период исследования вода р. Аллах-Юнь характеризовалась малой минерализацией с нейтральной и слабощелочной средой. В ионном составе отмечалось доминирование гидрокарбонатов, сульфатов и кальция. Содержание взвеси достигало 39,8 мг/л, показатель цветности варьировал в пределах от 15,8 до 20,6 градуса, ХПК изменялся от 5 до 9 мг/л.

Превышения нормативов ПДКр/х установлены по меди: в точках наблюдения УМ-4 (ниже устья р. Баягантай) в 1,4, УМ-9 (4 км выше п. Звездочка) в 1,5, УМ-11 (30 км ниже п. Аллах-Юнь) в 1,7 раза. По алюминию и меди в точке наблюдения УМ-3 (ниже дражных полигонов, выше устья р. Бриндакит) – в 2 и 1,3 раза соответственно. По алюминию и железу в точках наблюдения УМ-5 (6 км ниже п. Звездочка) – в 1,8 и 1,4 раза соответственно. Ниже п. Аллах-Юнь (УМ-12) установлены превышения по алюминию в 1,5, по железу и меди в 1,9 раза; выше п. Аллах-Юнь (УМ-14) – по алюминию в 1,3, железу в 1,5 и меди в 1,7 раза.

Особое внимание в водных объектах необходимо обратить на ртуть, которая является опасным загрязняющим веществом, элементом первого класса опасности. В точке наблюдения УМ-3 установлены максимальные

значения превышений нормативов ПДКр/х, достигающие 49 раз. В точке наблюдения УМ-4 (~9 км выше п. Солнечный, ниже мостового перехода) превышения ПДКр/х доходят до 6 раз, в точках УМ-9 – до 3,2, УМ-11 – до 3,7, УМ-12 (10 км ниже п. Аллах-Юнь) – до 13, УМ-14 (около устья ручья, вытекающего с х/х п. Аллах-Юнь) – до 10.

Таким образом, основными загрязняющими веществами в р. Аллах-Юнь являются ртуть, медь, железо и алюминий.

На территории Усть-Майского района расположены объекты, которые не вошли в государственный реестр объектов негативного воздействия на окружающую среду (ГРОНВОС), – это хвостохранилища ГОК «Джугджурзолото» в п. Аллах-Юнь и участок шлифо-обогатительной установки (ШОУ) в п. Звездочка. Данные техногенные водные объекты образованы в ходе разработки месторождений золота и негативно влияют на компоненты наземных и водных экосистем, их площадь и степень воздействия до настоящего времени малоизучены. Поэтому кроме природных водотоков гидрохимические исследования также проведены в техногенных водотоках и водоемах, образованных в хвостохранилищах около п. Звездочка и Аллах-Юнь.

Техногенный водоем около п. Звездочка в период исследования характеризовался малой минерализацией с нейтральной средой. Ионный состав воды – преимущественно гидрокарбонатно-сульфатного класса группы кальция. Содержание взвеси ниже 5 мг/л, показатель цветности достигал 22,6 градуса, величины ХПК – до 9 мг/л.

В зоне влияния техногенного водоема около п. Звездочка превышения нормативов ПДКр/х зафиксированы по ртути и меди в нескольких пунктах: в УМ-6 в 18 раз по меди, в УМ-7 в 2,4 раза по меди, в УМ-7/1 в 16 раз по ртути и 1,8 раза по меди, а также в 1,5 раза по меди и 1,7 раза по ртутни на выходе из техногенного водоема в пункте УМ-8.

Вода из хвостохранилища п. Аллах-Юнь в период исследования характеризовалась высокой минерализацией (до 2 г/л) со слабощелочной средой. Ионный состав воды – гидрокарбонатно-сульфатного класса группы кальция и магния. Содержание взвеси ниже 5 мг/л, показатель цветности 19,5 градуса, величина ХПК достигала 39 мг/л.

Отмечались превышения нормативов ПДКр/х по минерализации в 2,1 раза, по магнию в 2,7, по сульфатам в 8,0, по стронцию в 4,3, по железу в 1,5, по молибдену в 3,7 и по меди в 3 раза.

В период исследования вода из техногенного ручья с участка бывшего промприбора хвостохранилища п. Аллах-Юнь имела преимущественно высокую минерализацию до 8 г/л и щелочную среду. Ионный состав воды – гидрокарбонатно-сульфатного класса группы кальция и магния. Показатель цветности достигал 6,7 градуса, концентрация взвешенных веществ составляла 26,5 мг/л, величина ХПК – ниже 5 мг/л.

Установлены превышения нормативов ПДКр/х по минерализации в 7,9, по кальцию в 2,7, по магнию в 8,6, по калию в 1,2, по сульфатам в 36,3, по стронцию в 14,3, по молибдену в 17 и по меди в 1,8 раза.

Остальные изученные показатели всех указанных водотоков и техногенных водоемов находились в пределах нормативов ПДКр/х или ниже чувствительности анализа.

**Донные отложения.** Для водотоков бассейна р. Алдан на территории юго-востока Якутии впервые проведен химический анализ подвижных форм микроэлементов в донных отложениях с экстракцией ацетатно-аммонийным буферным раствором при pH 4,0. Для ртути рассчитан геофон для валовой формы. Результаты исследований микроэлементного состава, а также pH среды представлены в табл. 2. В связи с отсутствием нормативов ПДК в донных отложениях на территории РФ нами рассчитаны локальный геохимический фон (n = 17) (табл. 2), а также коэффициенты концентрации для исследованных водотоков и техногенных водоемов (табл. 3).

В целом исследованные донные отложения рек Алдан, Мая и Сахара характеризуются преимущественно щелочной средой. Для рек Юдома, Домбра, Ундейкан отмечаются донные

**Таблица 2. Состав подвижных форм микроэлементов, валовой формы Hg и pH среды в исследованных донных отложениях бассейна р. Алдан на территории Юго-Восточной Якутии, в мг/кг**

**Table 2. The composition of mobile forms of microelements, gross form of Hg and pH of the environment in the studied bottom sediments of the Aldan River basin in the territory of South-Eastern Yakutia, in mg/kg**

Точки отбора Sampling points	pH водный Water pH	Ni	Mn	Cd	Pb	Co	Cr	Cu	Zn	Fe	Hg
Геофон / Geophone (n=17)	7,8	1,00	149	0,040	2,2	0,6	0,1	0,8	3,3	419	0,10
р. Алдан / Aldan River											
УМ-19	8,0	0,57	94	0,016	0,6	0,4	0,2	0,5	2,8	374	н/о
УМ-21	8,0	0,27	80	0,022	1,5	0,1	0,1	0,3	2,2	199	н/о
р. Мая / Maya River											
УМ-20	8,1	0,40	94	0,031	1,7	0,2	0,1	0,4	4,1	273	н/о
р. Юдома / Yudoma River											
УМ-1	7,7	1,70	119	0,039	7,4	0,6	0,1	1,6	5,0	332	0,06
р. Домбра / Dombra River											
УМ-2	7,6	0,46	64	0,022	2,2	0,2	0,2	0,9	1,7	353	0,13
р. Ундейкан / Undeken River											
УМ-17	7,5	2,00	436	0,053	3,1	2,0	0,4	1,8	7,4	575	н/о
р. Сахара / Sahara River											
УМ-18	7,9	1,60	508	0,060	5,2	1,4	0,4	1,9	11,6	628	н/о
р. Аллах-Юнь / Allah-Yun River											
УМ-3	7,6	0,81	150	0,043	2,4	0,4	0,1	0,8	2,5	416	н/о
УМ-4	8,0	1,00	167	0,039	1,8	0,4	0,1	0,7	4,2	363	0,11
УМ-9	8,0	0,67	122	0,033	2,1	0,4	0,1	0,7	2,7	374	0,06
УМ-11	8,2	1,20	250	0,028	1,3	0,8	0,1	0,5	4,4	416	0,09
УМ-12	8,2	1,10	162	0,054	1,9	1,0	0,1	0,8	3,1	390	0,07
УМ-14	7,9	0,91	238	0,053	2,9	0,5	0,2	1,1	2,1	469	0,13
Техногенные водоемы / Man-made reservoirs											
УМ-6	7,8	1,50	370	0,068	8,0	1,1	0,2	2,2	4,3	601	0,32
УМ-8	7,8	2,40	370	0,120	5,7	1,9	0,4	1,8	4,4	575	0,03
УМ-13	8,0	1,50	398	0,120	5,4	1,1	0,2	1,5	4,8	601	0,18

Таблица 3. Коэффициенты концентрации подвижных форм микроэлементов в исследованных донных отложениях

Table 3. The concentration coefficients of mobile forms of microelements in the studied bottom sediments

Точки отбора Sampling points	Ni	Mn	Cd	Pb	Co	Cr	Cu	Zn	Fe	Hg
Геофон / Geophone (n=17)	0,9	151,7	0,04	2,0	0,5	0,2	0,7	3,8	394,2	0,10
р. Алдан / Aldan River										
УМ-19	0,6	0,6	0,4	0,3	0,8	<b>1,2</b>	0,7	0,7	0,9	-
УМ-21	0,3	0,5	0,6	0,7	0,2	0,6	0,4	0,6	0,5	-
р. Мая / Maya River										
УМ-20	0,5	0,6	0,8	0,8	0,4	0,6	0,5	<b>1,1</b>	0,7	-
р. Юдома / Yudoma River										
УМ-1	<b>1,9</b>	0,8	1,0	<b>3,7</b>	<b>1,2</b>	0,6	<b>2,2</b>	<b>1,3</b>	0,8	-
р. Домбра / Dombra River										
УМ-2	0,5	0,4	0,6	<b>1,1</b>	0,4	<b>1,2</b>	<b>1,2</b>	0,5	0,9	<b>1,3</b>
р. Ундэкэн / Undeken River										
УМ-17	<b>2,3</b>	<b>2,9</b>	<b>1,4</b>	<b>1,5</b>	<b>3,9</b>	<b>2,3</b>	<b>2,5</b>	<b>2,0</b>	<b>1,4</b>	-
р. Сахара / Sahara River										
УМ-18	<b>1,8</b>	<b>3,4</b>	<b>1,6</b>	<b>2,6</b>	<b>2,7</b>	<b>2,3</b>	<b>2,6</b>	<b>3,1</b>	<b>1,6</b>	-
р. Аллах-Юнь / Allah-Yun River										
УМ-3	0,9	1,0	<b>1,1</b>	<b>1,2</b>	0,8	0,6	<b>1,1</b>	0,7	1,0	-
УМ-4	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	1,0	0,9	0,8	0,6	1,0	<b>1,1</b>	0,9	-
УМ-9	0,8	0,8	0,9	1,0	0,8	0,6	1,0	0,7	0,9	-
УМ-11	<b>1,4</b>	<b>1,7</b>	0,7	0,6	<b>1,6</b>	0,6	0,7	<b>1,2</b>	1,0	-
УМ-12	<b>1,2</b>	<b>1,1</b>	<b>1,4</b>	0,9	<b>2,0</b>	0,6	<b>1,1</b>	0,8	1,0	-
УМ-14	1,0	<b>1,6</b>	<b>1,4</b>	<b>1,4</b>	1,0	<b>1,2</b>	<b>1,5</b>	0,6	<b>1,2</b>	<b>1,3</b>
Техногенные водоемы / Man-made reservoirs										
УМ-6	<b>1,7</b>	<b>2,5</b>	<b>1,8</b>	<b>3,9</b>	<b>2,2</b>	<b>1,2</b>	<b>3,0</b>	<b>1,1</b>	<b>1,5</b>	<b>3,2</b>
УМ-8	<b>2,7</b>	<b>2,5</b>	<b>3,2</b>	<b>2,8</b>	<b>3,7</b>	<b>2,3</b>	<b>2,5</b>	<b>1,2</b>	<b>1,4</b>	-
УМ-13	<b>1,7</b>	<b>2,6</b>	<b>3,2</b>	<b>2,7</b>	<b>2,2</b>	<b>1,2</b>	<b>2,1</b>	<b>1,3</b>	<b>1,5</b>	<b>1,8</b>

Примечание. Полужирным отмечены коэффициенты концентрации > 1,0.

Note. Concentration coefficients above 1.0 are given in bold.

отложения со слабощелочной средой. В р. Аллах-Юнь на отдельных участках наблюдаются донные отложения со слабощелочной и щелочной средой. Для техногенных участков также характерны донные отложения со слабощелочной и щелочной средой. По коэффициентам концентрации построены ряды накопления подвижных форм микроэлементов, а также валовой формы ртути, которые представлены в табл. 4.

На основе анализа коэффициентов концентрации изученных форм микроэлементов в донных отложениях исследованных водотоков и техногенных водоемов можно сделать вывод об уровне накопления и распределения загрязняющих веществ. В донных отложениях р. Алдан превышений локального геофона по исследованным элементам не установлено. В донных отложениях р. Сахара наиболь-

шие коэффициенты концентрации характерны для марганца и цинка. В донных отложениях р. Юдома выделяется повышенное содержание свинца, в р. Ундэкэн кобальт и марганец проявляют наиболее высокие коэффициенты концентрации, что, вероятно, связано с естественными геохимическими процессами. В донных отложениях р. Домбра по свинцу, меди и железу превышения локального фона незначительные, однако на данном участке проявляется ртуть, содержание которой превышает значения локального фона до 1,3 раза. В донных отложениях р. Мая отмечаются незначительные превышения по цинку.

Во всех исследованных участках р. Аллах-Юнь в донных отложениях установлены превышения локального геофона, наибольший ряд накопления характерен для участков УМ-14 (выше п. Аллах-Юнь) и УМ-12 (ниже п. Аллах-Юнь).

Таблица 4. Ряды накопления изученных форм микроэлементов в донных отложениях водных объектов Юго-Восточной Якутии

Table 4. Accumulation series of the studied forms of microelements in the bottom sediments of the water bodies of South-Eastern Yakutia

Точки наблюдения Observation points		Ряды накопления Accumulation series
р. Алдан Aldan River	УМ-19	Нет превышений / No excess
	УМ-21	Нет превышений / No excess
р. Мая Maya River	УМ-20	Zn <sub>1,1</sub>
р. Юдома Yudoma River	УМ-1	Pb <sub>3,7</sub> > Cu <sub>2,2</sub> > Ni <sub>1,9</sub> > Zn <sub>1,3</sub> > Co <sub>1,2</sub>
р. Домбра Dombra River	УМ-2	Hg <sub>1,3</sub> > (Cu-Fe) <sub>1,2</sub> > Pb <sub>1,1</sub>
р. Ундэкэн Undeiken River	УМ-17	Co <sub>3,9</sub> > Mn <sub>2,9</sub> > Cu <sub>2,5</sub> > (Ni-Cr) <sub>2,3</sub> > Zn <sub>2,0</sub> > Pb <sub>1,5</sub>
р. Сахара Sahara River	УМ-18	Mn <sub>3,4</sub> > Zn <sub>3,1</sub> > Co <sub>2,7</sub> > (Cu-Pb) <sub>2,6</sub> > Cr <sub>2,3</sub> > Ni <sub>1,8</sub> > (Fe-Cd) <sub>1,6</sub>
р. Аллах-Юнь Allah-Yun River	УМ-3	Pb <sub>1,2</sub> > (Cd-Cu) <sub>1,1</sub>
	УМ-4	(Ni-Mn-Zn) <sub>1,1</sub>
	УМ-9	Ni <sub>1,4</sub> > Zn <sub>1,2</sub>
	УМ-11	Mn <sub>1,7</sub> > Co <sub>1,6</sub> > Zn <sub>1,2</sub> > Ni <sub>1,1</sub>
	УМ-12	Co <sub>2,0</sub> > Cd <sub>1,4</sub> > Ni <sub>1,2</sub> > (Mn-Cu) <sub>1,1</sub>
	УМ-14	Mn <sub>1,6</sub> > Cu <sub>1,5</sub> > (Cd-Pb) <sub>1,4</sub> > Hg <sub>1,3</sub> > Fe <sub>1,2</sub>
Техногенные водоемы Man-made reservoirs	УМ-6	Pb <sub>3,9</sub> > Hg <sub>3,2</sub> > Cu <sub>3,0</sub> > Mn <sub>2,5</sub> > Co <sub>2,2</sub> > Cd <sub>1,8</sub> > Ni <sub>1,7</sub> > Fe <sub>1,5</sub> > Cr <sub>1,2</sub> > Zn <sub>1,1</sub>
	УМ-8	Cd <sub>3,2</sub> > Pb <sub>2,8</sub> > Ni <sub>2,7</sub> > (Mn-Cu) <sub>2,5</sub> > Cr <sub>2,3</sub> > Fe <sub>1,4</sub> > Zn <sub>1,2</sub>
	УМ-13	Cd <sub>3,2</sub> > Pb <sub>2,7</sub> > Mn <sub>2,6</sub> > Co <sub>2,2</sub> > Cu <sub>2,1</sub> > Hg <sub>1,8</sub> > Ni <sub>1,7</sub> > Fe <sub>1,5</sub> > Zn <sub>1,3</sub> > Cr <sub>1,2</sub>

На участке ниже п. Аллах-Юнь в донных отложениях выявлена ртуть, концентрация которой выше значений геофона в 1,3 раза. В целом для донных отложений р. Аллах-Юнь характерны такие элементы, как цинк, никель, медь и марганец.

В техногенных водоемах п. Звездочка и хвостохранилищах п. Аллах-Юнь коэффициенты концентрации микроэлементов значительно выше, что подтверждает их техногенное происхождение. В техногенном водоеме п. Звездочка (УМ-6) наибольшие значения характерны для свинца, ртути и кадмия. Аналогичная ситуация наблюдается в пункте УМ-8, где кадмий также имеет высокий коэффициент концентрации. В хвостохранилище п. Аллах-Юнь (УМ-13) выделяются повышенные концентрации свинца, ртути и кадмия, что подтверждает общую тенденцию накопления токсичных элементов в техногенных водоемах.

**Зоопланктон.** В видовом составе летнего зоопланктона бассейна р. Алдан в пределах Усть-Майского района РС (Я) в конце июня –

начале июля 2024 г. обнаружено 57 видов, принадлежащих к 3 классам, 5 отрядам, 16 семействам, 33 родам. Основу видового разнообразия составляют коловратки (42 %), субдоминантами являются ветвистоусые низшие раки (30 %) и веслоногие низшие ракообразные (28 %). Наиболее широко по числу видов представлено семейство *Cyclopidae* (23 % видового богатства всего зоопланктона, 39 % ракового зоопланктона и 81 % разнообразия *Soropoda*). На втором месте семейство *Brachionidae* (11 % видового богатства всего зоопланктона и 25 % разнообразия *Rotatoria*). Относительно богато представлено семейство *Chydoridae* (9 % видового богатства всего зоопланктона, 15 % ракового зоопланктона и 29 % разнообразия *Cladocera*). Фаунистический состав зоопланктона исследованных водоемов и водотоков был представлен широко распространенными в Палеарктике организмами. Подавляющее большинство видов являются космополитами и обладают широкой экологической валентностью.

Относительно высокие показатели числа видов, численности и биомассы зоопланктона зафиксированы в пробах из техногенного водоема на участке ШОУ п. Звездочка (УМ-20), на выходе из водоема от промприбора (УМ-15), где в момент отбора проб был расположен накопитель жидких бытовых отходов п. Звездочка. На остальных пунктах отбора проб определено до 7 видов (табл. 5). Во многих пробах отсутствовали представители группы фильтраторов – ветвистоусых ракообразных, что характерно для холодноводных

горных рек с быстрым течением бассейна р. Алдан.

Очень высокие показатели численности альфасапробных коловраток рода *Brachionus* (индикаторов загрязнения биогенными элементами) зафиксированы в пробах из техногенного водоема на участке ШОУ п. Звездочка (69 000 экз./м<sup>3</sup>) и на выходе из него (8000 экз./м<sup>3</sup>), что свидетельствует о загрязнении исследуемых вод биогенными элементами, поступающими с жидкими бытовыми отходами п. Звездочка.

Таблица 5. Усредненные структурные показатели зоопланктона р. Аллах-Юнь

Table 5. Average structural indicators of zooplankton of the Allah-Yun River

Водные объекты по участкам Water bodies by area	Число видов Number of species	Численность и биомасса основных групп Number and biomass of the main groups			Массовые виды (сапробность) Dominant species (saprobity)
		Rotatoria	Cladocera	Сорепода	
УМ-3 р. Аллах-Юнь, л. б., выше устья р. Брендакит Allah-Yun River, l. b., upstream of the mouth of the Brendakit River	1	10 0,02	0	40 1,73	молодь / juvenile Cyclopoidae
УМ-4 р. Аллах-Юнь, л. б., 9 км выше п. Солнечный Allah-Yun River, l. b., 9 km upstream of the Solnechny Settlement	4	0	10 0,6	80 2,21	«
УМ-5 р. Аллах-Юнь, пр. б., 6 км ниже п. Звездочка Allah-Yun River, r. b., 6 km downstream from the Zvezdochka Settlement	3	0	0	40 1,24	«
УМ-6 котловина промприбора (ШОУ) п. Звездочка The tailings settling pond (GCP) near the Zvezdochka Settlement	20	69000 119,7	8000 480	5040 130,57	<i>Asplanchna priodonta</i> (o-b), <i>Brachionus</i> (a), <i>Bosmina</i>
УМ-7 выход из котловины Outflow from the pond	15	8000 10,4	1040 61,19	3040 49,4	<i>Filinia</i> , <i>Brachionus</i> (a)
УМ-8 сброс с котловины на р. Аллах-Юнь Discharge from the pond into the Allah-Yun River	7	120 0,167	40 1,98	60 0,82	<i>Brachionus</i> (a), <i>Bdelloida</i> , молодь / juvenile Cyclopoidae
УМ-9 р. Аллах-Юнь, пр. б., 4 км выше п. Звездочка Allah-Yun River, r. b., 4 km upstream of the Zvezdochka Settlement	1	0	0	40 1,73	молодь / juvenile Cyclopoidae
УМ-11 р. Аллах-Юнь, пр. б., 30 км ниже п. Аллах-Юнь Allah-Yun River, r. b., 30 km downstream from the Allakh-Yun Settlement	4	10 0,02	10 0,6	60 2,04	«
УМ-12 р. Аллах-Юнь, пр. б., 10 км ниже п. Аллах-Юнь Allah-Yun River, r. b., 10 km downstream from the Allakh-Yun Settlement	3	0	0	40 2,28	«
УМ-13/1 р. Аллах-Юнь, пр. б., около устья ручья с х/х п. Аллах-Юнь Allah-Yun River, r. b., near the mouth of the stream from the range, the Allakh-Yun Settlement	4	0	50 3	80 2,76	<i>Bosmina</i> , молодь / juvenile Cyclopoidae
УМ-14 р. Аллах-Юнь, пр. б., выше п. Аллах-Юнь Allah-Yun River, r. b., upstream of the Allakh-Yun Settlement	4	0	20 1,2	90 4,4	<i>Cyclops scutifer</i> , молодь / juvenile Cyclopoidae

Примечание. Над чертой – численность (экз./м<sup>3</sup>); под чертой – биомасса (мг/м<sup>3</sup>).

Note. Abundance (ind./m<sup>3</sup>) is shown above the line; biomass (mg/m<sup>3</sup>) – below the line.

В среднем течении р. Аллах-Юнь на участках с длительным техногенным воздействием в русле реки во многих пунктах отбора проб зафиксированы крайне низкие количественные показатели зоопланктона, отмечалось нарушение сообщества (отсутствовали коловратки и ветвистоусые ракообразные). Последний факт требует более детальных многолетних мониторинговых исследований летнего зоопланктона.

## Заключение

В бассейне среднего течения р. Аллах-Юнь установлена четкая вертикальная зональность почв, отражающая климатические и геологические особенности района исследования. Основными типами почв являются мерзлотные подбуры и слаборазвитые почвы, а в долинных ландшафтах преобладают аллювиальные почвы, часто трансформированные под техногенным воздействием. В результате исследований выявлены участки значительной техногенной трансформации почв, сопровождающейся накоплением тяжелых металлов, таких как Hg, Pb, Cd.

Гидрохимический анализ водотоков на территории Усть-Майского района показал, что природные водотоки имеют низкую минерализацию со слабощелочной или нейтральной средой, с преобладанием гидрокарбонатного класса ионов кальция и магния. Выявлены локальные превышения ПДКр/х по железу, меди, алюминию и особенно ртути – элементу первого класса опасности, концентрации которого в отдельных реках, таких как Аллах-Юнь и Мая, значительно выше допустимых норм. Хвостохранилища в районе поселков Аллах-Юнь и Звездочка являются основными источниками загрязнения, демонстрируя высокие уровни минерализации (до 8 г/л) и содержания тяжелых металлов, включая ртуть, – до 16 ПДКр/х. В донных отложениях зафиксировано накопление загрязнителей как природного, так и техногенного происхождения, при этом наибольшие концентрации тяжелых металлов наблюдаются в зонах влияния золотодобычи.

В целом высокие содержания тяжелых металлов, таких как ртуть, свинец, цинк и никель, зафиксированные в почвах техногенных участков, коррелируют с загрязнением поверхностных вод. Ртуть, выявленная во всех компонентах экосистемы, является сквозным загрязняющим веществом. Подвижные формы цинка и свинца в почвах способствуют их переносу и накоплению в донных отложениях, где зафиксированы значительные превышения геохимического фона.

Экологическое состояние водных экосистем нарушено вследствие техногенного воздействия на водные объекты. Например, на участке р. Аллах-Юнь с преобразованным руслом отмечено выпадение коловраток и ветвистоусых ракообразных, что указывает на угнетающее действие высоких концентраций загрязняющих веществ на водные организмы.

Полученные результаты подчеркивают необходимость долгосрочных мониторинговых исследований и экологической реабилитации объектов, таких как хвостохранилища в районе п. Аллах-Юнь и Звездочка, которые должны быть внесены в ГРОНВОС. В бассейне р. Аллах-Юнь антропогенный вклад имеет решающее значение: превышения ПДКр/х по ртути, меди и свинцу в почвах и поверхностных водах четко приурочены к зонам золотодобычи.

Очевидно, что проведение комплексных экологических исследований на территории Усть-Майского района Республики Саха (Якутия) является необходимым и важным шагом для сохранения уникальных природных экосистем Юго-Восточной Якутии, минимизации антропогенного воздействия и обеспечения устойчивого развития Республики Саха (Якутия).

## Литература

Абакумов В. А. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод, донных отложений. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. С. 59–78.

Алекин О. А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеоиздат, 1953. 296 с.

Андроникова И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб.: Наука, 1996. 189 с.

Анисимова Г. С., Кондратьева Л. С., Серкебаева Е. С. Нетрадиционные типы золотого оруденения в карбонатных комплексах Сетте-Дабан // Отечественная геология. 2001. № 5. С. 59–62.

Атлас сельского хозяйства Якутской АССР / Гос. агропром. ком. Якут. АССР, Гос. ком. РСФСР по нар. образованию, Якут. гос. ун-т; редкол.: И. А. Матвеев и др. М.: ГУГК, 1989. 115 с.

Балушкина Е. В., Винберг Г. Г. Зависимость между длиной и массой тела планкtonных ракообразных // Экспериментальные и полевые исследования биологических основ продуктивности озер. Л.: Зоол. ин-т, 1979. С. 58–72.

Методические рекомендации по сбору и обработке материалов и гидрохимических исследований на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция / Гос. НИИ озер. и реч. рыб. хоз-ва, АН СССР, Зоол. ин-т. Л., 1982. 33 с.

Кириллов А. Ф., Ходулов В. В., Книжин И. Б., Венедиктов С. Ю., Иванов Е. В., Салова Т. А., Свердлова Т. В., Собакина И. Г., Соколова В. А., Соломонов Н. М., Ушицкая Л. А., Федорова Е. А., Шахтариц Д. В. Экологический мониторинг гидробионтов

среднего течения реки Лены. Якутск: ЯНЦ СО РАН, 2009. 174 с.

Кондратьева Л. А., Анисимова Г. С., Серкебаева Е. С. Структурный контроль и зональность золотого оруденения центральной части Сетте-Дабанского горст-антиклиниория // Отечественная геология. 1999. № 4. С. 9–11.

Охлопков И. И., Пестрякова Л. А. Оценка качества воды реки Аллах-Юнь (бассейн Алдан) // Успехи современного естествознания. 2011. № 8. С. 55–56.

Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 года № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

Салова Т. А., Николаева Н. А. Гидробиологические и гидрохимические исследования воды среднего течения реки Алдан // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 6. Ст. 625. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=23456> (дата обращения: 31.01.2025).

Шишов Л. Л., Тонконогов В. Д., Лебедева И. И., Герасимова М. И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

## References

Abakumov V. A. A guide to methods of hydrobiological analysis of surface waters and bottom sediments. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1983. P. 59–78. (In Russ.)

Alekin O. A. Fundamentals of hydrochemistry. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1953. 296 p. (In Russ.)

Andronikova I. N. Structural and functional organization of zooplankton in lake ecosystems of different trophic types. St. Petersburg: Nauka; 1996. 189 p. (In Russ.)

Anisimova G. S., Kondrat'eva L. S., Serkebaeva E. S. Unconventional types of gold mineralization in carbonate complexes of Sette-Daban. *Otechestvennaya geologiya = Russian Geology and Geophysics*. 2001;5: 59–62. (In Russ.)

Matveev I. A. et al. (eds.). *Atlas of agriculture of the Yakut ASSR*. Moscow: GUGK; 1989. 115 p. (In Russ.)

Balushkina E. V., Vinberg G. G. Relationship between length and body weight of planktonic crustaceans. *Eksperimental'nye i polevyye issledovaniya biologicheskikh osnov produktivnosti ozer = Experimental and field studies of the biological basis of lake productivity*. Leningrad: Zool. in-t, 1979. P. 58–72. (In Russ.)

Kirillov A. F., Khodulov V. V., Knizhin I. B., Venediktov S. Yu., Ivanov E. V., Salova T. A., Sverdlova T. V., Sobakina I. G., Sokolova V. A., Solomonov N. M., Ushnitskaya L. A., Fedorova E. A., Shakhtar D. V. Ecological monitoring of hydrobionts of the middle stream of the Lena River. Yakutsk: YaNTs SO RAN; 2009. 174 p. (In Russ.)

Kondrat'eva L. A., Anisimova G. S., Serkebaeva E. S. Structural control and zoning of gold mineralization in the central part of the Sette-Daban horst-anticlinorium. *Otechestvennaya geologiya = Russian Geology and Geophysics*. 1999;4:9–11. (In Russ.)

Methodological recommendations for the collection and processing of materials and hydrochemical studies in freshwater reservoirs. Zooplankton and its production. Leningrad; 1982. 33 p. (In Russ.)

Okhlopkov I. I., Pestyakova L. A. Water quality assessment of the Allakh-Yun River (Aldan basin). *Uspishi sovremennoego estestvoznaniya = Advances in Current Natural Sciences*. 2011;8:55–56. (In Russ.)

Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation of December 13, 2016 No. 552 *On approval of water quality standards for water bodies of fishery importance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in waters of water bodies of fishery importance*. (In Russ.)

Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation of January 28, 2021 No. 2 *On approval of sanitary rules and norms SanPIN 1.2.3685-21. Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans*. (In Russ.)

Salova T. A., Nikolaeva N. A. Hydrobiological and hydrochemical studies of water in the middle reaches of the Aldan River. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern Problems of Science and Education*. 2015;6:625. (In Russ.). URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=23456> (accessed: 31.01.2025).

Shishov L. L., Tonkonogov V. D., Lebedeva I. I., Gerasimova M. I. Classification and diagnostics of soils in Russia. Smolensk: Oikumena; 2004. 342 p. (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 12.02.2025; принята к публикации / accepted: 29.09.2025.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### Данилов Петр Петрович

канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник,  
заведующий лабораторией мерзлых почв

e-mail: [DanPP@mail.ru](mailto:DanPP@mail.ru)

## CONTRIBUTORS:

### Danilov, Petr

Cand. Sci. (Biol.), Head of Laboratory, Leading Researcher

**Ксенофонтова Марта Ивановна**

канд. геогр. наук, старший научный сотрудник  
лаборатории физико-химических методов анализа

*e-mail: ksemaria@mail.ru*

**Собакина Ирина Григорьевна**

научный сотрудник лаборатории прикладной зоологии  
*e-mail: alonella@yandex.ru*

**Попова Алена Гаврильевна**

инженер-исследователь лаборатории физико-химических  
методов анализа

*e-mail: palena1992@mail.ru*

**Макаров Виктор Семенович**

канд. биол. наук, старший научный сотрудник  
лаборатории промышленной ботаники  
и экологического картографирования

*e-mail: mvs379@yandex.ru*

**Ksenofontova, Marta**

Cand. Sci. (Geog.), Senior Researcher

**Sobakina, Irina**

Researcher

**Popova, Alena**

Research Engineer

**Makarov, Victor**

Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher