

Раздел 2

ЭКОЛОГИЯ. ФЛОРА. ФАУНА

Section 2

ECOLOGY. FLORA. FAUNA

УДК 631.4

## ТИТАН, ВАНАДИЙ И ХРОМ В ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО АЛТАЯ

А.В. Пузанов, Т.А. Рождественская, С.Н. Балыкин, А.В. Салтыков

*Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул,*

*E-mail: puzanov@iwep.ru, rtamara@iwep.ru, snbalykin@yandex.ru, saltykovav@yandex.ru*

*В статье оценивается геохимическая роль лесных почв Северо-Восточного Алтая, как очень важного звена в миграции титана, ванадия и хрома, и их дальнейшего поступления в речную сеть. Для этого в течение многих лет проводились исследования серых лесных, дерново-подзолистых и бурых лесных почв на территории водосборных бассейнов рек Лебедь, Тондошка, Пыжа, Иогач, Майма и Иша. Исследуемые микроэлементы были определены количественным плазменно-спектральным методом в Институте почвоведения и агрохимии СО РАН. В результате проведенной аналитической работы выяснилось, что титан и ванадий инертны к почвенным процессам под лесной растительностью, т. к. их содержание по всему почвенному профилю существенно не изменяется и не отличается от первоначального уровня, характерного для почвообразующих пород, которые были представлены бурыми бескарбонатными глинами и суглинками. В отличие от этих микроэлементов хром более подвижен, но только в бурых лесных почвах, где хорошо прослеживается его выщелачивание.*

*Ключевые слова:* титан; ванадий; хром; лесные почвы; Северо-Восточный Алтай; оподзоливание; выщелачивание.

DOI: 10.24412/2410-1192-2022-16706

Дата поступления: 15.11.2022

Почвы играют важную роль в миграции микроэлементов. Она особенно заметна в лесных экосистемах, где происходит более глубокое разрушение минералов в процессе почвообразования и

выщелачивание многих микроэлементов в почвенный раствор и их дальнейший переход в пищевую цепь. Попадая в живые организмы, они участвуют в таких важнейших биохимических процессах,

как дыхание, фотосинтез, кроветворение, белковый, углеводный и жировой обмен веществ. Полное отсутствие микроэлементов в их питании так же, как и избыток, вызывает заболевания и гибель от болезней, связанных с резким нарушением обмена веществ [Мальгин, 1978; Протасова и др., 1992; Агроэкология, 2000; Добровольский, 2003; Анисимова и др., 2009]. В организме человека титан обнаружен в головном мозге, почках, селезёнке и печени; ванадий – в головном мозге; хром – в гипофизе, почках, селезёнке и печени [Абдурахманов, Зайцев, 2004]. Кроме этого, ванадий участвует в фотосинтезе и фиксации молекулярного азота растениями [Arnon, 1953; Школьник, 1968], а хром – входит в состав протеолитического фермента трипсина и способен заменить алюминий в системе янтарная дегидрогеназа – цитохром С, которая является главным механизмом в окислении янтарной кислоты в теле млекопитающих [Школьник, Макарова, 1957]. Выявление районов с оптимальным, недостаточным или избыточным содержанием этих микроэлементов в почве дает возможность регулировать уровень их содержания для получения полноценной сельскохозяйственной продукции и исключения эндемических заболеваний животных и человека [Мальгин, 1978; Протасова и др., 1992].

### *Материалы и методы*

Лесные почвы в Северо-Восточном Алтае занимают почти всю площадь и представлены тремя типами: серые лесные, дерново-подзолистые и бурые лесные. В отличие от других почв Северо-Восточного Алтая они имеют мощный профиль, сформированный в результате длительного почвообразования, с хорошо выраженными гумусовым и иллювиальными горизонтами. Мощность гумусового горизонта может достигать 60 см, даже под сомкнутым пихтовым древостоем. Он имеет обычно от бурой с сероватым оттенком (бурые лесные почвы) до серой с бурым оттенком (серые лесные почвы) окраску, комковатую или творожисто-комковатую структуру, легко- или среднесуглинистый гранулометрический состав и относительно рыхлое сложение. Иллювиальный горизонт в лесных почвах отличается бурой или жёлто-бурой окраской, комковато-ореховатой, ореховатой или призматической структурой, среднесуглинистым или тяжелосуглинистым гранулометрическим составом и большой плотностью по сравнению с другими почвенными горизонтами. Также он богат гумусовыми, железистыми и глинистыми плёнками и затёками по граням почвенных агрегатов. Кроме этих горизонтов в дерново-подзолистых почвах выделяется

подзолистый горизонт, который отличается более светлой белесоватой окраской, комковатой или комковато-плитчатой структурой и легкосуглинистым гранулометрическим составом. Его мощность колеблется в пределах от 26 до 66 см.

Мелкозем в исследуемых почвах характеризуется высоким содержанием гумусовых соединений, даже в дерново-подзолистых, где их количество в гумусовом горизонте достигает почти 7%. Впрочем, с глубиной этот показатель интенсивно снижается, особенно в элювиальном горизонте дерново-подзолистых почв (на 73%) и на границе гумусового и иллювиального горизонтов в серых лесных и бурых лесных почвах (на 52%). От бурых бескарбонатных суглинков и глин эти почвы наследуют суглинистый гранулометрический состав, в котором с глубиной наблюдается увеличение содержания фракций физической глины на 36%. В результате в иллювиальном горизонте дерново-подзолистых почв удельная масса тонкодисперсных частиц может даже превышать их содержание в почвообразующей породе на 8%. Кислотно-щелочные условия в рассматриваемых почвах отличаются относительным постоянством. Тем не менее, можно отметить небольшое увеличение значений pH с глубиной (бурые лесные – с 5.3 до 5.9, дерново-подзолистые – с 5.5 до 7.2 и серые лесные – с 5.6 до 6.5), что

указывает на растительное происхождение актуальной кислотности. Особенно это подтверждается в дерново-подзолистых почвах, где вследствие увеличения кислого растительного опада происходит небольшой скачок актуальной кислотности до pH 5.2 в элювиальном горизонте.

Ёмкость поглощения зависит от содержания гумусовых соединений и тонкодисперсных частиц, в состав которых входят минералы монтмориллонитовой группы, поэтому в профиле всех исследуемых почв наблюдается два максимума её значений – в гумусовом горизонте, где происходит накопление первых, и в иллювиальном, где отмечается высокое содержание вторых. Сильнее это явление наблюдается в дерново-подзолистых почвах, слабее – в бурых лесных почвах. Тем не менее, максимальные значения ёмкости поглощения достигают в иллювиальном горизонте серых лесных почв (до 33.7 мг-экв/100 г), а наименьшие – в элювиальном горизонте дерново-подзолистых почв (13.9 мг-экв/100 г).

Экспедиционные маршруты для исследования лесных почв Северо-Восточного Алтая охватывали бассейны рр. Лебедь, Тондошка, Пыжа, Иогач, Майма и Иша. Почвенные разрезы закладывали на наиболее представительных участках с типичными для данной местности

лесной растительностью, рельефом и почвообразующими породами. Почвенные пробы отбирали из срединной части каждого генетического горизонта, высушивали до воздушно-сухого состояния и подготавливали для аналитических работ, которые проводили в лаборатории биогеохимии Института водных и экологических проблем СО РАН. Определение общего содержания гумусовых веществ в исследуемых почвах проводили по методу Тюрина [ГОСТ 23740-79] в модификации Никитина, гранулометрического состава – пипеточным методом по Качинскому [ГОСТ 12536-79], актуальной кислотности – потенциометрическим методом [ГОСТ 26423-85], емкости поглощения – по методу Бобко-Аскинази в модификации Грабарова с окончанием по Айдиняну. Определение валового содержания титана, ванадия и хрома в почвенных образцах проводилось в Институте почвоведения и агрохимии СО РАН количественным плазменно-спектральным методом.

#### *Результаты и обсуждение*

Удельная масса титана в исследуемых почвах изменяется от 4267 (на границе с почвообразующей породой в серых лесных почвах) до 5867 (средняя часть иллювиального горизонта бурых лесных почв) мг/кг, и почти не отличается от земной коры (4500 мг/кг

[Алексеевко, 2000]) и почв Земли (4600 мг/кг [Виноградов, 1957]). Также следует отметить относительно высокие среднеарифметические ошибки (6–39% от удельной массы титана в мелкозёме), которые указывают на большие колебания абсолютных значений его содержания в каждом почвенном горизонте (таблица).

В бурых лесных почвах прослеживается слабое выщелачивание титана, о чём свидетельствует снижение его содержания на границе гумусового и иллювиального горизонтов. Однако, за счёт биологического поглощения и сорбции глинистыми минералами происходит незначительное накопление титана в гумусовом (коэффициент распределения = 1.07) и иллювиальном (коэффициент распределения = 1.22) горизонтах соответственно. По мере развития подзолистого процесса картина внутрипочвенного распределения титана в дерново-подзолистых почвах несколько искажается. Также наблюдаются два максимума – в гумусовом и иллювиальном горизонтах, но если в первом содержание титана сопоставима с одноимённым горизонтом в бурых лесных почвах, то во втором – ниже, чем в предыдущих почвах.

На этапе формирования серых лесных почв, действие подзолистого процесса прекращается, и происходит восстановление внутрипочвенного распределения титана характерного для бурых лесных почв.

Таблица

Внутрипрофильное распределение титана, ванадия и хрома в исследуемых почвах

Table

Intra-profile distribution of titanium, vanadium and chromium in the studied soils

Горизонт	Титан		Ванадий		Хром	
	С	КР	С	КР	С	КР
Бурые лесные почвы						
A	5135 ±1547	1.07	117.6 ±24.6	0.85	155.9 ±82.4	0.78
AB	4300 ±800	0.89	113.3 ±19.1	0.82	104.7 ±9.1	0.52
B1	5640 ±1232	1.17	117.4 ±16.6	0.85	98.3 ±7.6	0.49
B2	5867 ±1256	1.22	114.3 ±17.7	0.83	138.0 ±62.0	0.69
B3	5500 ±800	1.14	150.0 ±40.0	1.08	140.0 ±5.0	0.70
BC	4814 ±1551	1.00	138.3 ±31.7	1.00	199.5 ±10.5	1.00
Дерново-подзолистые почвы						
A1	5100 ±1089	1.09	87.9 ±6.7	0.88	105.3 ±29.8	1.00
A1A2	5200 ±800	1.11	86.0 ±9.3	0.86	114.8 ±48.2	1.09
A2	4663 ±753	1.00	89.6 ±9.5	0.89	108.2 ±33.4	1.03
A2B1	5200 ±900	1.11	99.8 ±13.8	0.99	113.0 ±44.7	1.07
B1	5043 ±1392	1.08	109.7 ±12.9	1.09	128.2 ±37.4	1.21
B2	5060 ±1952	1.08	113.6 ±10.9	1.13	119.5 ±30.5	1.13
B3	5550 ±360	1.19	116.3 ±8.1	1.16	145.7 ±39.1	1.38
BC	4669 ±686	1.00	100.3 ±9.0	1.00	105.7 ±21.7	1.00
Серые лесные почвы						
A	4622 ±1290	1.08	102.0 ±22.5	0.73	86.6 ±28.7	0.71
AB	4417 ±1150	1.04	108.3 ±18.9	0.78	85.0 ±15.8	0.70
B1	4575 ±950	1.07	129.3 ±21.6	0.93	105.3 ±31.6	0.86
B2	4622 ±1225	1.08	133.7 ±22.5	0.96	96.0 ±14.5	0.79
B3	5250 ±833	1.23	136.1 ±20.4	0.98	91.0 ±4.8	0.74
BC	4267 ±1272	1.00	139.5 ±29.4	1.00	122.2 ±36.2	1.00

Примечание: С – содержание (мг/кг), КР – коэффициент распределения.

Отличием является более низкое содержание титана в мелкозёме, что объясняется его низкой изначальной концентрацией (4266±1272 мг/кг).

Сравнивая рассматриваемые почвы, можно сказать, что выщелачивание

титана происходит исключительно в бурых лесных почвах (коэффициент распределения = 0.89) и в пределах ошибки, интенсивность биологического накопления в гумусовом горизонте во всех почвах одинаково (коэффициент рас-

пределения = 1.07, 1.09 и 1.08 соответственно), обогащение иллювиального горизонта максимально в серых лесных и бурых лесных почвах (коэффициент распределения = 1.23 и 1.22 соответственно).

Удельная масса ванадия в исследуемых почвах сравнима с его содержанием в земной коре (90 мг/кг [Алексеенко, 2000]) и в 8–15 раз больше, чем в среднем в почвах Земли (10 мг/кг [Виноградов, 1957]), и варьирует в пределах от  $86.0 \pm 9.3$  (на границе гумусового и элювиального горизонтов дерново-подзолистых почв) до  $150.0 \pm 40.0$  (нижняя часть иллювиального горизонта в бурых лесных почвах) мг/кг. Для него характерна относительно не большая среднеарифметическая ошибка (8–27% от удельной массы ванадия в мелкозёме), вследствие слабых колебаний абсолютных значений внутри каждого почвенного горизонта.

Интенсивное увеличение содержания ванадия происходит в нижней части иллювиального горизонта бурых лесных почв: если ещё в средней части этого горизонта значение его удельной массы равно  $114.3 \pm 17.7$  мг/кг, то в нижней увеличивается до  $150.0 \pm 40.0$  мг/кг. Такой скачок связан с резким снижением пористости почвенной массы, что приводит к торможению миграции тонкодисперсных частиц, а вместе с ними и ванадия. Тем не менее, уже на границе с

почвообразующей породой его содержание снижается до  $138.3 \pm 31.7$  мг/кг.

В дерново-подзолистых почвах такого скачка не наблюдается и внутрипрофильное распределение ванадия представляет собой постепенное увеличение его содержания с глубиной до иллювиального горизонта ( $116.3 \pm 8.1$  мг/кг), а ниже снижается до  $100.3 \pm 9.0$  мг/кг (на границе иллювиального горизонта и почвообразующей породы).

В серых лесных почвах содержание ванадия на 16% больше, чем в дерново-подзолистых и сопоставимо с бурыми лесными почвами. По характеру внутрипочвенного распределения ванадия серые лесные почвы существенно не отличаются от предыдущих.

Таким образом, распределение ванадия в исследуемых почвах отличается его выщелачиванием из верхней части профиля в нижнюю, за исключением серых лесных почв, где этому процессу подвержена вся почвенная толща.

Удельная масса хрома в мелкозёме исследуемых почв изменяется в пределах от  $85.0 \pm 15.8$  (на границе гумусового и иллювиального горизонтов в серых лесных почвах) до  $199.5 \pm 10.5$  (на границе с почвообразующей породой в бурых лесных почвах) мг/кг. Таким образом, нижний предел соответствует его концентрации в земной коре (83 мг/кг [Алексеенко, 2000]), а верхний –

среднему содержанию в педосфере (200 мг/кг [Виноградов, 1957]). Колебания абсолютных значений сильно варьируют в зависимости от почвенного горизонта, о чём свидетельствует среднеарифметическая ошибка (4–53% от удельной массы хрома в мелкозёме).

В бурых лесных почвах хром подвержен выщелачиванию на протяжении всего их профиля, особенно это заметно на границе гумусового и иллювиального горизонтов. В гумусовом горизонте, в следствие биологического поглощения, происходит увеличение коэффициента распределения с 0.52 до 0.78. Такая же ситуация наблюдается в иллювиальном горизонте и на его границе с почвообразующей породой, но уже по причине сорбционной и механической аккумуляции хрома в составе мигрирующих веществ и в несколько больших количествах. Таким образом, хром имеет два максимума во внутрипрофильном распределении – в гумусовом горизонте и на границе с почвообразующей породой.

Дерново-подзолистые почвы отличаются от предыдущих отсутствием накопления хрома в гумусовом горизонте (коэффициент распределения = 1.00) и достаточно интенсивной аккумуляцией в иллювиальном, особенно в его нижней части (коэффициент рас-

пределения = 1.38). В целом же внутрипрофильное распределение хрома достаточно равномерно и любые изменения его содержания в мелкозёме находятся в пределах среднеарифметической ошибки.

В серых лесных почвах какие-либо выраженные признаки аккумуляции хрома не наблюдаются – коэффициент распределения варьирует от 0.70 (на границе гумусового горизонта) до 0.86 (верхняя часть иллювиального горизонта). Таким образом, как и в предыдущих почвах, внутрипрофильное распределение хрома происходит в пределах среднеарифметической ошибки.

#### *Выводы*

Подводя итог вышеизложенному, можно сделать вывод, что титан и ванадий инертны к почвенным процессам под лесной растительностью, т. к. их содержание по всему почвенному профилю существенно не изменяется и не отличается от первоначального уровня, характерного для почвообразующих пород, которые были представлены бурыми бескарбонатными глинами и суглинками. В отличие от этих микроэлементов хром более подвижен, но только в бурых лесных почвах, где хорошо прослеживается его выщелачивание.

*Конфликт интересов:* Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

*Conflict of interest:* The authors declare that there is no conflict of interest.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН (проект «Оценка эколого-биогеохимической обстановки в речных бассейнах Сибири в условиях изменения климата и антропогенного воздействия»).*

#### *Список литературы*

Абдурахманов Г.М., Зайцев И.В. Экологические особенности содержания микроэлементов в организме животных и человека. М.: Наука, 2004. 280 с.

Агроэкология / Ред. В.А. Черникова, А.И. Чекереса. М.: Колос, 2000. 536 с.

Алексеев В.А. Экологическая геохимия. М.: Логос, 2000. 627 с.

Анисимова Л.Н., Анисимов В.С., Круглов С.В. Исследование кинетики корневого поглощения катионов Со (II), Zn и Ni из растворов с использованием радиоактивных изотопов // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. Томск: ТПУ, 2009. С. 51–55.

Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. М.: АН СССР, 1957. 259 с.

ГОСТ 12536-79. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. М.: Издательство стандартов, 1979. 16 с.

ГОСТ 23740-79. Грунты. Методы лабораторного определения содержания органических веществ. М.: Государственный строительный комитет СССР, 1979. 23 с.

ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки. М.: Стандартиформ, 2011. 4 с.

Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М.: Академия, 2003. 400 с.

Мальгин М.А. Биогеохимия микроэлементов в Горном Алтае. Новосибирск: Наука, 1978. 272 с.

Протасова Н.А., Щербаков А.П., Копаева М.Т. Редкие и рассеянные элементы в почвах Центрального Черноземья. Воронеж: ВГУ, 1992. 168 с.

Школьник М.Я. Изучение физиологической роли микроэлементов // Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине. Улан-Удэ: БКИ, 1968. С. 92–109.

Школьник М.Я., Макарова Н.А. Микроэлементы в сельском хозяйстве. М.-Л.: АН СССР, 1957. 292 с.

Arnon D. Vanadium as an essential element for green plant // Nature. 1953. 172. P. 1039.

*References*

Abdurahmanov G.M., Zajcev I.V. *Ekologicheskie osobennosti sodержaniya mikroelementov v organizme zhivotnyh i cheloveka* [Ecological features of the content of trace elements in the body of animals and humans]. M.: Nauka, 2004. 280 p. (in Russian).

Agroekologiya [Agroecology] / Ed. V.A. Chernikova, A.I. Chekeresa. M.: Kolos, 2000. 536 p. (in Russian).

Alekseenko V.A. *Ekologicheskaya geohimiya* [Ecological geochemistry]. M.: Logos, 2000. 627 p. (in Russian).

Anisimova L.N., Anisimov V.S., Kruglov S.V. *Issledovanie kinetiki kornevogo pogloshcheniya kationov Co (II), Zn i Ni iz rastvorov s ispol'zovaniem radioaktivnyh izotopov* [Investigation of the kinetics of root absorption of Co (II), Zn and Ni cations from solutions using radioactive isotopes] // *Radioaktivnost' i radioaktivnye elementy v srede obitaniya cheloveka* [Radioactivity and radioactive elements in the human environment]. Tomsk: TPU, 2009. P. 51–55. (in Russian).

Vinogradov A.P. *Geohimiya redkih i rasseyannyh elementov v pochvah* [Geochemistry of rare and scattered elements in soils]. M.: AN SSSR, 1957. 259 p. (in Russian).

GOST 12536-79. *Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya granulometricheskogo (zernovogo) i mikroagregatnogo sostava*. M.: Izdatel'stvo standartov, 1979. 16 p. (in Russian).

GOST 23740-79. *Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya sodержaniya organicheskikh veshchestv*. M.: Gosudarstvennyj stroitel'nyj komitet SSSR, 1979. 23 p. (in Russian).

GOST 26423-85. *Pochvy. Metody opredeleniya udel'noj elektricheskoy provodimosti, pH i plotnogo ostatka vodnoj vytyazhki*. M.: Standartinform, 2011. 4 p. (in Russian).

Dobrovol'skij V.V. *Osnovy biogeohimii* [Fundamentals of biogeochemistry]. M.: Akademiya, 2003. 400 p. (in Russian).

Mal'gin M.A. *Biogeohimiya mikroelementov v Gornom Altae* [Biogeochemistry of trace elements in the Altai Mountains]. Novosibirsk: Nauka, 1978. 272 p. (in Russian).

Protasova N.A., Shcherbakov A.P., Kopaeva M.T. *Redkie i rasseyannye elementy v pochvah Central'nogo Chernozem'ya* [Rare and scattered elements in the soils of the Central Chernozem region]. Voronezh: VGU, 1992. 168 p. (in Russian).

Shkol'nik M.Ya. *Izuchenie fiziologicheskoy roli mikroelementov* [Study of the physiological role of trace elements] // *Mikroelementy v sel'skom hozyajstve i medicine* [Trace elements in agriculture and medicine]. Ulan-Ude: BKI, 1968. P. 92–109. (in Russian).

Shkol'nik M. Ya., Makarova N. A. Mikroelementy v sel'skom hozyajstve [Trace elements in agriculture]. M.–L.: AN SSSR, 1957. 292 p. (in Russian).

Arnon D. Vanadium as an essential element for green plant // Nature. 1953. 172. P. 1039.

## TITANIUM, VANADIUM AND CHROMIUM IN FOREST SOILS OF NORTH-EASTERN ALTAI

A. V. Puzanov, T. A. Rozhdestvenskay, S. N. Balykin, A. V. Saltykov

*Institute of Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul,*

*E-mail: puzanov@iwep.ru, rtamara@iwep.ru, snbalykin@yandex.ru, saltykovav@yandex.ru*

*The article assesses the geochemical role of forest soils of the North-Eastern Altai as a very important link in the migration of titanium, vanadium and chromium, and their further flow into rivers. For this purpose, studies of gray forest, sod-podzolic and brown forest soils have been carried out for many years in the catchment areas of the Swan, Tondoshka, Pyzha, Iogach, Maima and Isha rivers. The studied trace elements were determined by quantitative plasma-spectral method at the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS. As a result of the analytical work carried out, it turned out that titanium and vanadium are inert to soil processes under forest vegetation, because their content varies within the error and does not differ from the initial level characteristic of soil-forming rocks, which were represented by brown carbonate-free clays and loams. Unlike these trace elements, chromium is more mobile, but only in brown forest soils, where its leaching is well traced.*

**Keywords:** titanium; vanadium; chromium; forest soils; North-Eastern Altai; podzolization; leaching.

*Received November 15, 2022*

### *Сведения об авторах*

*Пузанов Александр Васильевич* – доктор биологических наук, профессор, директор Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1, ИВЭП СО РАН. ORCID: 0000-0002-1340-486X. E-mail: puzanov@iwep.ru.

*Рождественская Тамара Анатольевна* – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1, ИВЭП СО РАН. ORCID: 0000-0001-8487-2495. E-mail: rtamara@iwep.ru.

*Балыкин Сергей Николаевич* – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1, ИВЭП СО РАН. ORCID: 0000-0001-5598-0470. E-mail: balykins@rambler.ru.

*Салтыков Алексей Владимирович* – научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1, ИВЭП СО РАН. ORCID: 0000-0003-1515-3061. E-mail: saltykov@iwep.ru.

*Information about the authors*

*Puzanov Alexander Vasil`evich* - Dr Sc. in Biology, Professor, Director of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0002-1340-486X. E-mail: puzanov@iwep.ru.

*Rozhdestvenskaya Tamara Anatol`evna* – PhD in Biology, Researcher of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0001-8487-2495. E-mail: rtamara@iwep.ru.

*Balykin Sergey Nikolaevich* – PhD in Biology, Researcher of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0001-5598-0470. E-mail: balykins@rambler.ru.

*Saltykov Alexey Vladimirovich* – Researcher of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0003-1515-3061. E-mail: saltykov@iwep.ru.