

УДК 540.42:631.41

ЛИТИЙ В ПОЧВАХ И РАСТЕНИЯХ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

© 2019 г. В. К. Кашин*

*Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Россия, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6
e-mail: kashin-39@mail.ru

Поступила в редакцию 31.05.2018 г.

После доработки 18.06.2018 г.

Принята к публикации 24.10.2018 г.

Изучено содержание лития в почвообразующих породах, почвах и растительности лесостепных, степных и сухостепных ландшафтов Забайкалья. Среднее содержание Li в породах составляет 1.1 от его кларка в земной коре, а среднее содержание Li в почвах 1.1–1.3 раза от его кларка в почвах мира. Выявлена тесная корреляция между содержанием Li в почвах и почвообразующих породах и отсутствием связи с гумусом и содержанием в растительности. Установлены особенности пространственного и профильного распределения Li в почвах. По коэффициенту биологического поглощения степными, луговыми и культурными фитоценозами из почв (1.2–2.4) Li отнесен к группе среднего накопления. Среднее содержание Li в степных, луговых и культурных растениях в 1.3–2.3 раза больше среднего содержания его в растительности суши. В растительности восьми ключевых площадок луговых ландшафтов содержание Li достигало токсичных концентраций (5–15 мг/кг). Накопление Li в растительности луговых ландшафтов на единицу площади в 10.5 раза больше, чем в сухостепных.

Ключевые слова: почвообразующие породы, коэффициент биологического поглощения, накопление, Luvisols, Chernozems, Kastanozems, Fluvisols

DOI: 10.1134/S0032180X19040099**ВВЕДЕНИЕ**

Литий – элемент 1а группы периодической системы – относится к типичным литофильным катионогенным элементам, мигрирующим в виде свободных катионов и не образующим комплексных соединений. Ионный радиус Li^{1+} близок к ионным радиусам Mg^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} , Ti^{4+} , поэтому для него характерен гетеровалентный изоморфизм в минералах. Элемент слабо подвижный в любой геохимической обстановке [16, 32]. Из 54 собственных минералов Li промышленное значение имеют пять: сподумен, лепидолит, петалит, амблигонит, циннвальдит. Почти все минералы встречаются в месторождениях, связанных с кислыми породами, особенно с гранитными пегматитами [8, 28].

В объектах окружающей среды Li отнесен к опасным элементам (второго класса) в подземных водах [16], ПДК в питьевой воде 30 мкг/л (ГОСТ 2874-82) [10] при его среднем содержании в подземных водах зоны гипергенеза 13, в речных – 3 мкг/л [35]; избыточная или токсичная концентрация в тканях зрелых листьев растений более 5 мг/кг [43].

По биологической значимости Li, по классификации 2001 г., отнесен к условно эссенциальным микроэлементам [26]. Однако результаты

интенсивных исследований нейротрофической и нейропротекторной роли Li последних лет позволили отнести его к эссенциальным микроэлементам: он необходим для функционирования, прежде всего, нервной системы, а также некоторых других систем организма [29, 40, 45, 48]. Суточная потребность в Li оценивается в 200–300 мкг для взрослых. Дефицит поступления Li в организм человека приводит к развитию нервно-психических заболеваний. В настоящее время соединения Li (Li_2CO_3), а также лекарственные растения – концентраторы этого элемента – применяются в психиатрии и неврологии при лечении биполярных эмоциональных расстройств, в частности маниакальной депрессии [5, 17].

При повышенных дозах Li (1.5–2.0 мМ в сыворотке крови) оказывает токсическое действие на почки, печень, сердце и железы [29]. По химическим свойствам Li сходен с Mg (правило диагонали в периодической системе). Литий связывается с магниемсодержащим ферментом инозитмонофосфатазы и ингибирует его активность [5]. Концентрация Li в кормах более 5 мг/кг приводит к увеличению содержания в сыворотке крови животных Са и снижению Р. Происходит декальцинация костной ткани, поражение зубов [36].

Известны растения из семейств пасленовых и лютиковых, концентрирующие Li до 1.5 тыс. раз

по сравнению с его средним содержанием [22], что послужило основанием для предположения о его необходимости для таких растений. Одной из важных специфических сторон физиологической роли Li является способность регулировать биосинтез и накопление алкалоидов. Участие Li в метаболизме азотистых веществ и нуклеиновых кислот повышает продуктивность растений [6, 36].

Литий, благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам, широко применяется в современных инновационных промышленных отраслях: в атомной и ядерной энергетике, органическом синтезе, производстве алюминия, пластмасс, стекла (главным образом, оптического). Широко используется Li в батареях для видеокамер, компьютеров, телефонов, в радиотехнике, электронике, лазерной технике. Он добавляется в ракетные топлива и смазочные вещества [28, 43]. Все это приводит к увеличению содержания Li в биосфере, что может создавать экологические проблемы.

Таким образом, Li является значимым элементом для живых организмов в нормальных содержаниях и потенциально токсичным в повышенных. Поэтому необходим контроль его содержания (наряду с другими элементами) в объектах окружающей среды разных регионов [33]. Однако изучению содержания Li в почвах и растениях в отличие от тяжелых металлов уделяется мало внимания [3, 9, 20, 43].

Цель работы – изучение содержания и распределения Li в почвообразующих породах, почвах и растительности автономных и подчиненных ландшафтов. Исследования проводили на трех пространственных уровнях: региональном, локальном (ландшафтном) и внутрипрофильном. Задачи работы: определить региональные характеристики содержания Li в основных почвообразующих породах и почвах, выяснить особенности пространственного и профильного распределения в почвах, выявить связь между содержанием Li в почвах с его содержанием в породах, растительности и с почвенными свойствами, определить содержание и накопление Li в луговых и степных растениях в центральных и южных районах Бурятии (Западное Забайкалье).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в 12 районах Республики Бурятия в лесостепных, степных, сухостепных и пойменных ландшафтах, расположенных в бассейне р. Селенга – главного притока оз. Байкал. На этой территории сосредоточено основное количество населения региона, производится сельскохозяйственная продукция и на ней расположены крупные промышленные узлы, в числе которых предприятия по производству цемента,

стекла, ТЭЦ (работающих на угле и мазуте), являющиеся источниками выбросов в окружающую среду химических элементов, в том числе Li.

Объектами исследования служили основные типы почвообразующих пород (делювиальные и аллювиальные отложения), преобладающие на изучаемой территории серые лесные (Luvisols), черноземы дисперсно-карбонатные (Chernozems), каштановые (Kastanozems) и аллювиальные темногоумусовые (Fluvisols) почвы, а также укосы степной (холоднопопынные и разнотравно-злаковые фитоценозы), луговой (злаковые и разнотравно-злаковые) и культурной (в основном овес) растительности.

Пробы почвообразующих пород, почв и растительности отбирали согласно общепринятым методам [1, 19]. Собрано 192 пробы поверхностного слоя почв (0–20 см) для определения пространственного распределения и расчета среднего регионального значения, сделано 64 полнопрофильных разреза для отбора почвообразующих пород и изучения внутрипрофильной дифференциации Li по генетическим горизонтам и 82 растительные пробы. Распределение Li по горизонтам почв исследовали в выборке из 64 представительных почвенных разрезов.

Растительные пробы, срезанные на уровне 2–3 см от поверхности почвы, отбирали одновременно с почвенными пробами в период массового цветения растений доминантов (максимальной биологической продуктивности) с 1 м² в 3–5-кратной повторности для определения содержания и расчета накопления Li в надземной массе на единицу площади. Расчет накопления элемента в воздушно-сухой фитомассе производили умножением содержания Li, выраженного в мг/кг, на урожай в кг/га.

Содержание Li в породах, почвах и зольном остатке растений определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии [2] с плазменным источником возбуждения в аттестованном на техническую компетентность Аналитическом центре Республики Бурятия. Нижний предел обнаружения Li в почвах и золе растений 1.5 мг/кг. Погрешность анализа 6–10%. Для калибровки и контроля точности измерения использовали государственные стандартные образцы состава почв и золы растений. Аналитическая повторяемость трехкратная.

Интенсивность перераспределения Li по профилю почв оценивали коэффициентом радиальной дифференциации (R), представляющим собой отношение содержания элемента в генетическом горизонте к его содержанию в почвообразующей породе [13].

О биологической доступности Li в почвах судили по коэффициенту биологического поглощения ($K_{БП}$) – отношению содержания элемента в

золе растений к валовому содержанию его в почве [12]. КБП отражает потенциальную биогеохимическую подвижность элементов. Для сравнения средних региональных содержаний Li в почвообразующих породах, почвах и растительности использовали его кларк в земной коре, среднее содержание в почвах и растительности мира и кларки концентрации к этим показателям [23, 43]. Статистическая обработка результатов проведена стандартными методами с использованием программы Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Литий в почвообразующих породах. Почвообразующими породами на большей части территории Забайкалья являются маломощные толщи элюво-делювия коренных пород, которые содержат их обломки и слабыветрелый щебень. Преобладающими коренными породами служат разновозрастные гранитоиды и породы гранитовой группы, в меньшей степени средние и основные: диориты, габбросиениты, гипербазиты, граносиениты, базальты. Породообразующие минералы гранитоидов, главным образом, представлены кварцем и щелочными калиево-натриевыми полевыми шпатами (соотношение $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ от 0.9 до 1.2). В межгорных котловинах и широких участках речных долин почвообразование происходит на мощной толще рыхлых наносов делювиально-пролювиальных отложений, древнего и современного аллювия, озерных отложений [18, 21].

Коренные породы Забайкалья содержат следующие средние количества Li: граниты – 73, базальты – 56, диориты и габбро – 25, осадочные – 26, карбонатные – 5 [15], гранат-биотит-хлоритовый метапесчаник – 61, спессартин-мусковит-хлоритовый сланец – 58, песчаники – 34, алевролиты – 33, алевролитовые известняки – 24, кварцит – 3 [18] габбро-диориты – 27, гранодиориты – 40 мг/кг [24]. Как видно из этих данных, материнские породы региона существенно различаются по содержанию Li, что обуславливает неравномерность его содержания в почвообразующих породах.

Вариационно-статистические показатели содержания Li в основных типах почвообразующих пород лесостепных, степных, сухостепных и пойменных ландшафтов Западного Забайкалья приведены в табл. 1. В делювиальных отложениях концентрации Li различались в 2.7 раза, в аллювиальных отложениях – в 2.5 раза. Различие максимального содержания от минимального достигало 2.8 раза, коэффициент вариации – 25%. Самое низкое содержание Li отмечено в делювии граносиенитов лесостепных ландшафтов, а самое высокое – в элювио-делювии биотитовых гранитов степных ландшафтов. Среднее арифметическое содержание Li в делювиальных отложениях было в 1.2 раза выше, чем в аллювиальных отло-

жениях, хотя это различие несущественно: $t_{\text{факт}}$ 1.1 при $t_{\text{теор}}$ 2.01. Средняя региональная концентрация Li в почвообразующих породах региона равна 27.3 ± 2.1 мг/кг при коэффициенте вариации 23%.

Минералогический состав делювиальных отложений представлен кварцем (45–67%) и полевыми шпатами (48–54%). Акцессорные минералы составляют незначительную долю, %: амфиболы – 2.6–3.0, пироксены – 0.6–1.3, магнетиты – 0.3–0.7, биотиты – 0.3–0.5 [31]. В полевых шпатах содержание Li варьировало в пределах 11–28, в плагиоклазе 25–28, в биотите 220–524, амфиболе 41–71 мг/кг [24]. В акцессорных минералах ионы Li^+ (ионный радиус 0.068 нм) путем гетеро валентного изоморфизма замещают близкие по размеру ионы Mg^{2+} (0.072 нм), Fe^{2+} (0.061 нм) и Fe^{3+} (0.055 нм), Al^{3+} (0.0535 нм) и Ti^{4+} (0.064 нм) [28]. Что касается полевых шпатов, которые являются основными носителями рассеянных элементов, то в них Li связан с поверхностью минерала-носителя сорбционными силами химических валентных связей (хемосорбция) или с участием электрокинетических и электростатических сил Ван-дер-Ваальса (физисорбция). Кроме того, они могут находиться в структуре минерала-носителя в неупорядоченном состоянии [12].

Распределение Li в земной коре определяется его физико-химическими свойствами, как типичного литофильного катионогенного элемента, обладающего высокой восстановительной способностью, а также минералогическим составом коренных и осадочных пород. Характерная геохимическая особенность Li состоит в том, что в кислых породах он содержится в повышенных количествах.

По современным обобщениям, кларк Li в земной коре – 25, в верхней части континентальной коры – 30, в кислых породах – 80, в средних – 20, в основных – 20, в осадочных – 33, в глинистых – 55, песчаниках – 30 мг/кг [11, 30]. В зоне гипергенеза преобладающей является окислительная обстановка, в ней литий присутствует в форме Li^+ в различных соединениях. В кислых породах значительная часть Li заключена в биотите, часть в мусковите и других алюмосиликатах, где он замещает Al^{3+} без существенного изменения их структуры [23, 25].

Сравнение с кларковыми величинами показало, что в среднем в делювиальных и аллювиальных почвообразующих породах региона кларк концентрации Li составил 1.1 от его кларка в земной коре или 0.8 от его кларка в осадочных породах, то есть существенного различия не отмечено.

Таким образом, литохимические и минералогические особенности коренных и почвообразующих пород ландшафтов Забайкалья обуславливают различия в концентрации в них Li – 3–73 и

Таблица 1. Вариационно-статистические показатели содержания лития в почвообразующих породах и почвах (0–20 см) ландшафтов Забайкалья

Почвообразующие породы	Почвы	n	C _{орг} , %	рН _{H₂O}	Литий, мг/кг			
					породы		почвы	
					пре- делы	M ± m	пре- делы	M ± m
Лесостепные ландшафты								
Делювиальные отложения (граносиенитов)	Серые лесные	11	2.4–3.8	6.8–7.2	18–34	24.8 ± 2.1	16–28	23.6 ± 1.3
Аллювиальные отложения (супесчаных галечников)	Аллювиальные темногумусовые	11	3.1–4.9	6.7–7.4	17–29	22.3 ± 1.5	16–25	21.8 ± 1.1
Степные ландшафты								
Делювиальные отложения (биотитовых гранитов)	Черноземы дис-песно-карбонатные	11	2.8–3.7	7.0–7.2	20–48	29.6 ± 2.5	19–36	26.9 ± 1.6
Аллювиальные отложения (супесчаных галечников)	Аллювиальные темногумусовые	11	2.2–4.7	6.9–7.1	19–43	27.1 ± 1.7	18–33	25.9 ± 1.5
Сухостепные ландшафты								
Делювиальные отложения (гранито-гнейсов)	Каштановые типичные	11	1.4–2.1	7.1–7.8	19–45	27.4 ± 2.2	20–39	25.4 ± 1.4
Аллювиальные отложения (супесчаных галечников)	Аллювиальные темногумусовые	10	2.3–2.7	6.8–7.2	18–40	26.9 ± 2.4	19–32	25.2 ± 1.3
Пойменные ландшафты								
Аллювиальные отложения (вся совокупность)	Аллювиальные темногумусовые (вся совокупность)	32	2.2–4.9	6.4–7.4	17–43	25.8 ± 1.8	16–33	24.5 ± 1.4
Среднее региональное Кларк земной коры [30]			–	–	17–48	27.3 ± 2.1	16–39	25.1 ± 1.2
Кларк осадочных пород [11]						25		
Среднее в почвах мира [43]						33		21.0

Примечание. Коэффициенты вариации содержания C_{орг} в слое 0–20 см, %: серые лесные – 22, черноземы – 21, каштановые – 38, аллювиальные – 46.

17–48 мг/кг соответственно, что является геохимической основой для неоднородности пространственного и профильного распределения его в почвах.

Литий в почвах. Диапазоны и средние содержания Li в поверхностном слое почв региона представлены в табл. 1. Концентрации элемента в почвах различались в 2.4 раза при среднем значении 25.1 ± 1.2 мг/кг и коэффициенте вариации 21%. В серых лесных почвах и черноземах различия максимального содержания Li над минимальным составляли 1.8–1.9 раза, в каштановых и аллювиальных почвах – 2.0–2.1 раза при коэффициенте вариации от 18 до 25%. Подобные различия обусловлены сложным составом коренных и почвообразующих пород и содержанием в них Li, что отмечалось выше. Однако различие среднего содержания Li в разных типах почв в значительной мере нивелировалось и составляло лишь 1.1–1.2 раза. Эти данные свидетельствуют, что статистически значимых различий по среднему содержанию Li в гумусовых горизонтах этих типов

почв не выявлено, хотя отмечено пониженное количество элемента в серых лесных почвах по сравнению с черноземами. Коэффициент достоверности содержания Li между ними равен 1.9 при $t_{теор}$ 2.04.

Среднее содержание Li в почвах мира по последним обобщениям оценивается в 21 мг/кг [43]. Кларк концентрации элемента в почвах Забайкалья по сравнению с этим значением составлял в среднем 1.2 – от 1.12 в серых лесных почвах до 1.28 – в черноземах, что практически равно кларку Li в почвах.

Основными природными факторами, определяющими количество химических элементов в почвах, являются гранулометрический и минералогический составы почвообразующих пород. Содержание наиболее важных гранулометрических фракций (мелкого песка, крупной пыли и ила) варьирует в поверхностном слое почв и почвообразующих породах в близких пределах. Преобладающую долю составляют песчаные и круп-

Таблица 2. Гранулометрический состав почвообразующих пород и почв, %

Почвообразующие породы	Фракция, мм			Почвы	Фракция, мм		
	<0.25–0.05	0.05–0.01	<0.001		<0.25–0.05	0.05–0.01	<0.001
Делювиальные отложения граноселенитов	23–42	14–34	13–18	Серые лесные	21–37	17–26	9–14
Делювиальные отложения биотитовых гранитов	11–35	13–38	8–14	Черноземы	15–26	11–35	14–20
Делювиальные отложения гранито-гнейсов	28–37	12–33	11–15	Каштановые	31–42	15–36	7–13
Аллювиальные отложения супесчаных галечников	28–42	29–35	4–6	Аллювиальные	14–40	11–35	4–11

Таблица 3. Минералогический состав почвообразующих пород (130–150 и 220–230 см) и серых лесных почв и черноземов (0–20 см), % [31]

Глубина, см	Кварц	Полевой шпат	Амфибол	Апатит	Биотит	Магнетит	Сфен	Эпидот
Серая лесная почва								
0–20	65	25	4	0.3	0.4	1.0	0.5	–
130–150	63	34	3	0.1	0.3	0.4	0.4	–
Чернозем дисперсно-карбонатный								
0–20	61	30	6	–	0.7	1.0	0.6	0.3
220–230	64	32	3	–	0.5	1.0	0.5	0.6

Примечание. Прочерк – нет данных.

нопылеватые фракции, состоящие в основном из кварца и полевых шпатов. Тонкодисперсных частиц незначительное количество, особенно в аллювиальных почвах и почвообразующих породах (табл. 2).

Минералогический состав почвообразующих пород и формирующихся на них серых лесных почв и черноземов также незначительно различался по содержанию основных минералов, кроме повышенного содержания биотита в черноземе (табл. 3).

Поэтому корреляционный анализ позволил выявить тесную связь между содержанием Li в поверхностном слое черноземов, серых лесных, каштановых, аллювиальных почв и в почвообразующих породах (табл. 4). Это связано с тем, что основу почв составляет минеральное вещество (95–98.5%, при содержании гумуса 1.5–4.9%), которое в аридных условиях с коротким вегетационным периодом слабо подвергается химическому и биологическому выветриванию. Различия коэффициентов корреляции в изученных почвах между этими показателями свидетельствуют о том, что почвообразовательный процесс в них вносит свои коррективы.

В отношении связи между содержанием Li в почвах с такими важными почвенными свойствами, как pH и гумус выявлено следующее. Между содержанием Li в серых лесных почвах и pH в пределах 6.5–7.3 обнаружена средняя степень за-

висимости при $t_{\text{факт}}$ 3.2 и $t_{\text{теор}}$ 2.2, а в черноземах, каштановых и аллювиальных почвах корреляция между ними отсутствует ($t_{\text{факт}} < t_{\text{теор}}$). Содержание Li в аллювиальных почвах находится в слабой отрицательной зависимости с количеством гумуса, а в серых лесных, черноземах и каштановых почвах корреляция отсутствует. Это, по-видимому, обусловлено различиями в содержании гумуса в почвах: максимальная вариабельность содержания гумуса отмечалась в аллювиальных почвах – 46%. Коэффициенты вариации содержания Li в почвах изменялись в пределах 18–25%. На основании этих данных можно заключить, что содержание Li в почвах Забайкалья зависит, главным образом, от его концентрации в породах, а такие показатели, как pH и гумус имеют ограниченное влияние на распределение элемента в почве. Для ряда других элементов выявлены различные корреляционные связи с pH и содержанием органического вещества в почвах Каталонии: отсутствие корреляции с этими показателями у V, Sr, Ba, Cu; наличие корреляции у Cr, Zn, Pb; отсутствие корреляции с pH и наличие корреляции с органическим веществом у Ni, Mn, Al, Fe [47].

Об особенностях пространственного распределения Li в почвенном покрове региона, обусловленного сочетанием литохимических и экологических условий почвообразования, свидетельствует рис. 1. Наибольшая концентрация элемента (29–39 мг/кг) выявлена в каштановых

Таблица 4. Коэффициенты корреляции содержания лития в почвах с его содержанием в почвообразующих породах или в растительности с почвенными свойствами, критерии их достоверности

Тип почвы, растительность	<i>n</i>	Порода	pH	$C_{орг}$	Растительность
Серая лесная, культурная	17	0.73	0.6	0.06	0.30
Чернозем, степная	8	0.84	0.21	-0.17	0.32
Каштановая, сухостепная	12	0.80	0.24	0.07	0.29
Аллювиальная, луговая	17	0.77	0.11	-0.36	0.35
$t_{факт}$		3.5–4.9	0.4–3.2	0.2–1.2	0.4–1.2
$t_{теор}$		2.2–2.6	2.2–3.2	2.2–3.2	2.2–2.8

почвах, сформированных на легкосуглинистых делювиальных отложениях гранито- и биотитогнейсов (с. Малый Куналей и Новоселенгинск). Наименьшее содержание Li (16–19 мг/кг) отмечено в аллювиальных почвах долины р. Уды (с. Верхние Тальцы), р. Чикоя (с. Октябрьский) и р. Селенги (с. Тарбагатай) на песчаных аллювиальных отложениях, а также в черноземе дисперсно-карбонатном (с. Чесан) на делювиальных легкосуглинистых отложениях. При обобщении всех имеющихся данных установлено, что большинство значений содержания Li в почвах находилось в диапазоне от 21 до 29 мг/кг (76%).

Анализ и систематизация полученных результатов позволили выявить различия в содержании Li в почвах северной части изученной территории (Кижингинский, Хоринский и Заиграевский районы) по сравнению с центральной (Мухоршибирский, Селенгинский, Тарбагатайский районы) и южной частями (Бичурский, Джидинский, Кяхтинский районы). В относительных цифрах они составляли 1.0, 1.25 и 1.21 соответственно. Эти различия по отношению к северной части существенны: $t_{факт}$ 2.5 при $t_{теор}$ 2.13 и $t_{факт}$ 2.28 при $t_{теор}$ 2.09. Между содержанием Li в почвах центральной и южной частей разница незначительна – $t_{факт}$ 0.44 при $t_{теор}$ 2.07.

Причина этого заключается в литохимическом различии коренных пород, прежде всего, в содержании кремнезема, составляющего основу изверженных и осадочных пород, как наиболее устойчивого при гипергенезе минерала, поскольку состоит из сплошного каркаса кремнекислородных тетраэдров, а также биотита, содержание Li в котором в 18–20 раз выше, чем в полевых шпатах [24]. Как видно из данных табл. 5, содержание кремнезема в породах северной части на 9–10% выше, чем в центральной и южной, что является одной из причин отличия в содержании Li (как и V) в почвах этих частей изученного региона, поскольку содержание других оксидов довольно близко. Однако различия в содержании Li в почвах этих частей региона было менее контрастным, чем V (1.0, 1.52, 1.44) [44], что обусловлено особенностями химических свойств этих элементов: Li – катионогенный, тогда как V – анионогенный

элемент и поведение его более сложное в разных условиях. Коэффициенты корреляции между содержанием Li и SiO₂, а также между V и SiO₂ – отрицательные с высокой степенью достоверности. Что касается биотита, то его содержание в породах незначительно (0.7–3.1%), но в породах южной части оно в 1.5–2.3 раза больше, чем в северной. Поэтому за счет высокой концентрации в нем Li биотит также может влиять на уровень содержания элемента в породах.

Данные по распределению Li в профиле серых лесных, черноземах, каштановых и аллювиальных почвах приведены в табл. 6. Коэффициенты R Li в верхних горизонтах почв по сравнению с почвообразующей породой (гор. С) различались незначительно: в каштановой супесчаной почве 0.85, в черноземе легкосуглинистом 0.82, в аллювиальной луговой почве 0.74, в серой лесной почве 0.88. Это свидетельствует о том, что физико-химическая миграция элемента в профиле проявляется слабо, так как осуществляется в мало-контрастных окислительно-восстановительных и щелочно-кислотных условиях. В профиле черноземных почв агрогенных ландшафтов Западной Сибири отношение содержания Li к его содержанию в почвообразующей породе изменялось от 0.65 до 0.85 [27].

Различия между максимальным и минимальным содержанием Li в профиле почв составляли в серой лесной 1.26, аллювиальной 1.40, каштановой 1.54, черноземе 1.63 раза. Дифференциация Li в профиле изучаемых почв в значительной степени ассоциируется с содержанием полевых шпатов в преобладающей в почвах региона фракции физического песка, в которой они в основном сосредоточены. Так, по данным [14], содержание полевых шпатов в каштановых почвах Забайкалья составляло (%): в гор. А – 67.3, гор. В – 64.4, гор. С – 66.4; в серых лесных почвах – в гор. А – 64.5, гор. В – 56.5, гор. С – 63.0.

Такое распределение Li в профиле разных типов почв Забайкалья обусловлено тем, что он содержится в повышенных количествах, главным образом, в каликатровых полевых шпатах в парагенетической ассоциации с другими рассеянными элементами – Rb, Cs, Be, Ba, Sr [23]. Эти шпаты ха-

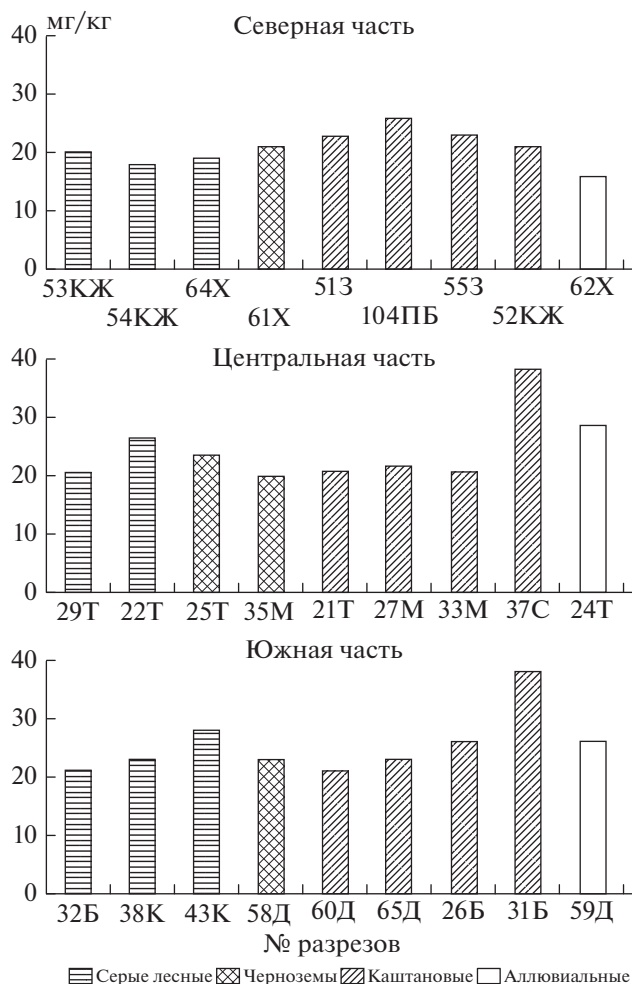


Рис. 1. Содержание Li в поверхностном слое (0–20 см) почв в разных частях Западного Забайкалья (номер разреза и место отбора проб – село). *Северная часть:* 53КЖ (Леоновка), 54КЖ (Чесан), 64X (128-й км), 61X (Удинск), 513 (Ацагат), 104ПБ (Турунтаево), 553 (Унэгэтэй), 52КЖ (Кижинга), 62X (Верхние Тальцы). *Центральная часть:* 29Т (Большой Куналей), 22Т (Наденно), 25Т (Б. Куналей), 35М (Тугнуй), 21Т (Тарбагатай), 27М (Подлопатки), 33М (Шаралдай), 37С (Новоселенгинск), 24Т. *Южная часть:* 32Б (М. Куналей), 38К (Кудара-Сомон), 43К (Усть-Киран), 58Д (Петропавловка), 60Д (Белозерск), 65Д (Нижний Торей), 26Б (Окино-Ключи), 31Б (Малый Куналей), 59Д (Петропавловка).

рактируются значительной устойчивостью к выветриванию, особенно в аридных условиях [13], каковыми и характеризуется территория региона. Поэтому интенсивность миграции Li определяется не внутренними свойствами элемента, а скоростью разрушения кристаллической решетки полевых шпатов. Кроме того, малая растворимость образующихся при разрушении породообразующих минералов солей карбонатов, фосфатов (Li_3PO_4) и фторидов (LiF) Li не оказывает существенного влияния на его миграцию в почвенном профиле. О низкой миграционной

способности Li свидетельствует также интенсивность вовлечения его в водную миграцию. Коэффициент водной миграции его очень низкий – 0.08, тогда как у K – 0.5, Na – 1.7 [12].

Кроме того, известно, что геохимически Li в значительной степени связан с Mg, Fe, Al [25, 28]. Валовое содержание Al_2O_3 по генетическим горизонтам основных типов почв Забайкалья различалось несущественно: в черноземах – 14.1–15.7%, в каштановых – 14.9–16.1%, в серых лесных почвах – 15.2–16.7%. Валовое содержание оксидов других металлов в 3–4 раза меньше [31], поэтому их роль в поведении Li в почвах в условиях окислительной среды, по-видимому, мало значима. В данном случае более важное значение имеет уровень содержания элемента, то есть Al.

Результаты исследований, проведенных в разных регионах, показывают, что в лесостепных ландшафтах Западной Сибири среднее содержание Li в серых лесных почвах – 27.8 (колебания – 15–41), в черноземах – 26.1 (10.0–45.5), в аллювиальных почвах пойменных ландшафтов – 25.7 мг/кг (10.0–38.5) [27]. В дерново-подзолистых почвах Московской области среднее содержание Li – 34.0, Ленинградской области – 19.7, в песчаных подзолистых почвах Литвы – 18.9, в сероземах Киргизии – 36, Таджикистана – 47.3 мг/кг [7]. В почвах Южного Предуралья содержание Li существенно различалось в зависимости от ландшафта: на Юрюзано-Предгорной равнине – минимальное 35, максимальное 1042 (в породах 135) мг/кг, на Уфимском плато – 65 и 631 (в породах 51.9) мг/кг, на Белебеевской платообразной возвышенности – 5.0 и 10.0 мг/кг соответственно [3].

В почвах США среднее содержание Li составляло 33.0 (5–140) [41], в почвах Швеции – 17.0 (1–36) [42], Италии – 22.2 (10.4–34.5) [37], среднее в почвах Бразилии 24.0 мг/кг [43], в сельскохозяйственных почвах Японии – 13.0 [46], среднее в почвах Китая – 35.0 [38], в почвах Венесуэлы – от 2.0 до 13.9 мг/кг [39].

Таким образом, диапазоны среднего содержания Li в почвах различных регионов в основном составляют 13–36 мг/кг. На этом фоне выделяются повышенными на 1–2 порядка содержания Li в поверхностном слое почв Юрюзано-Предгорной равнины и Уфимского плато Южного Предуралья [3] по сравнению с этими концентрациями и кларком Li в почвах. На основании полученных данных авторы [3] составили рабочую шкалу по обеспеченности почв Li, в которой содержание до 200 мг/кг считают низким, 200–400 – средним, более 400 – высоким. Исходя из анализа выше приведенных материалов, такие концентрации Li, по нашему мнению, являются на порядок повышенными.

Литий в растениях. КБП Li из почв растительностью степных ландшафтов изменялись в пре-

Таблица 5. Химический состав коренных пород северной (Кижингинская впадина [34]), центральной (Тарбагатайская впадина [21]) и южной (Джидинская впадина [18]) частей исследованного региона

Район	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	V	Li
	%						мг/кг	
Северный (С)	70.2–74.4	13.2–15.1	1.1–1.6	3.4–4.3	4.3–5.4	–	58–75	18–22
Центральный (Ц)	62.3–64.7	14.0–17.1	2.3–4.1	1.9–2.4	2.1–3.2	2.7–3.2	93–125	23–29
Южный (Ю)	61.2–64.6	12.3–14.1	1.6–2.6	1.6–2.6	1.9–2.2	2.4–2.8	89–122	21–32

Примечание. Данные по V [44], по Li – автора настоящей статьи. Коэффициенты корреляции: между Li и SiO₂ – С – -0.86 ± 0.19 , $t_{\text{факт}} 4.6$, $t_{\text{теор}} 2.4$; Ц – -0.76 ± 0.21 , $t_{\text{факт}} 3.7$, $t_{\text{теор}} 2.2$; Ю – -0.81 ± 0.18 , $t_{\text{факт}} 4.5$, $t_{\text{теор}} 2.2$; между V и SiO₂ – С – -0.80 ± 0.21 , $t_{\text{факт}} 4.0$, $t_{\text{теор}} 2.4$; Ц – -0.85 ± 0.16 , $t_{\text{факт}} 5.5$, $t_{\text{теор}} 2.2$; Ю – -0.89 ± 0.15 , $t_{\text{факт}} 8.2$, $t_{\text{теор}} 2.2$. Минералогический состав, %: С – кварц – 34–48, полевой шпат – 32–38, плагиоклаз – 6–9, биотит – 0.7–1.9, роговая обманка – 1.6–2.4, магнетит – 0.2–0.4, сфен – 0.4–0.6; Ю – кварц – 28–37, полевой шпат – 35–43, плагиоклаз – 10–15, биотит – 1.6–3.1, роговая обманка – 0.6–1.9, магнетит – 0.2–0.5, сфен – 0.2–0.4.

Таблица 6. Распределение лития по генетическим горизонтам почв

Тип почвы, № разреза	Горизонт	Глубина, см	C _{орг} , %	pH	Li, мг/кг	R
Серая лесная, 53КЖ	А пах	0–20	4.8	6.9	21	0.88
	Ап/пах	20–30	2.6	7.0	20	0.83
	В1	30–40	0.8	7.1	23	0.96
	В2	45–55	–	7.2	22	0.92
	ВС	80–90	–	7.4	19	0.79
	С	130–140	–	7.5	24	1.00
Чернозем дисперсно-карбонатный, 58Д	А пах	0–20	3.1	7.1	25	0.89
	Ап/пах	20–30	1.9	6.9	28	1.00
	В	35–40	1.2	7.0	24	0.80
	Вк	60–70	–	7.5	30	1.07
	ВСк	90–100	–	8.1	39	1.30
	Ск	140–150	–	7.6	28	1.00
Каштановая типичная, 60Д	А пах	0–20	1.7	7.4	23	0.85
	Ап/пах	25–35	0.9	7.5	22	0.81
	В	50–60	0.3	7.3	24	0.89
	ВСк	80–90	–	7.9	34	1.26
	Ск	140–150	–	8.0	27	1.00
	Аллювиальная темногумусовая, 36С	Ад	0–18	4.9	7.6	28
В1		20–30	3.8	7.4	30	0.79
В2		50–60	0.5	7.8	27	0.71
ВС		75–85	0.2	7.9	32	0.84
С		180–190	–	7.8	38	1.00

Примечание. R – коэффициент почвенной дифференциации – отношение содержания элемента в горизонте к его содержанию в почвообразующей породе (гор. С).

делах 1.2–1.8 (среднее 1.4 ± 0.12), луговых ландшафтов – 1.3–2.2 (1.7 ± 0.11), агроландшафтов – 1.2–1.9 (1.6 ± 0.07). Коэффициенты вариации КБП – 17–20%. КБП Li растительностью луговых ценозов превышал в 1.2 раза КБП степных ценозов. На рис. 2 КБП Li луговыми и степными фитоценозами, выражается в виде кривых, из которых видно, что при увеличении содержания элемента в почве его поглощение растениями снижается и, напротив, при низких концентрациях оно повышается: коэффициенты корреляции -0.62 ± 0.024 ($t_{\text{факт}} 2.8$, $t_{\text{теор}} 2.4$) и 0.69 ± 0.031 ($t_{\text{факт}} 3.4$, $t_{\text{теор}} 2.4$) соответственно.

Экологическая активность Li в почвах по КБП в этих же фитоценозах сравнима с Mn (1.05), выше, чем Fe (0.08), Ti (0.11), Zr (0.12), но значительно ниже, чем Zn (5.18), Cu (3.36), Sr (3.0).

Средний КБП Li растительностью суши равен 1.0 [12], что в 1.5–1.8 раза ниже, чем средние КБП изученной растительности Забайкалья. КБП Li растительностью на дерново-подзолистых почвах Московской, Ленинградской областей и Литвы составлял 0.09–1.3 [7]. Это свидетельствует о региональных особенностях поглощения Li растительностью Забайкалья. Исходя из этих величин КБП, Li следует отнести к элементам среднего

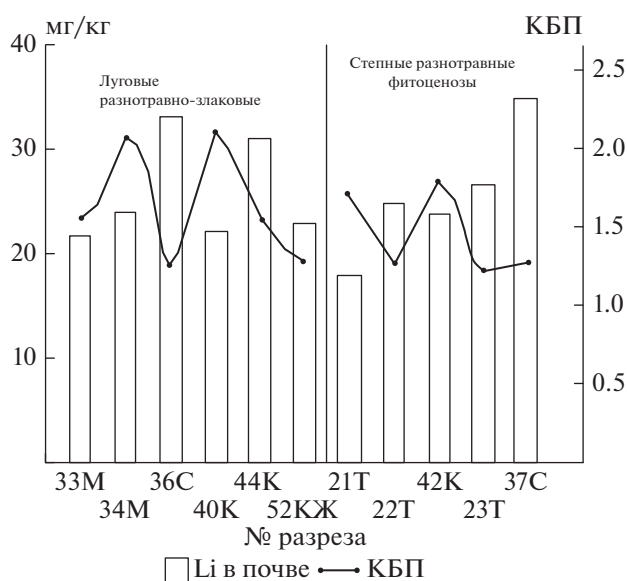


Рис. 2. Коэффициенты биологического поглощения (КБП) Li луговыми и степными фитоценозами и его содержание в почвах, мг/кг.

накопления по классификации Б.Б. Полынова с дополнениями В.В. Добровольского.

Содержание Li в укосах степных, луговых и культурных растений значительно различалось (табл. 7), что обусловлено как биологическими особенностями растений и соотношением их в ценозах, так и разнообразием экологических факторов мест произрастания, прежде всего, различием типов почв и условий увлажнения. Что касается биологических особенностей растений, то злаки характеризуются преобладанием углеводного типа метаболизма, бобовые – белкового, разнотравье – наличием веществ вторичного обмена. Эти группы отличаются количеством функциональных групп, способных к удержанию химических элементов.

Количество Li в степных растениях варьировало в пределах 2.2 раза. Минимальное содержание Li выявлено в растениях холодно-попынных ассоциаций (1.16 мг/кг, с. Удинск) и злаковых (1.24 мг/кг, с. Тохой), а максимальное в осоково-ковыльных (2.58 мг/кг, с. Иволгинск) и злаково-осоковых (2.30 мг/кг, с. Жаргалантуй). В степных растениях на девяти ключевых площадках содержание Li было от 1.16 до 1.98 и на 8 площадках – 2.0–2.58 мг/кг.

Содержание Li в луговых растениях нормального увлажнения изменялось в 6.3 раза. Среднее содержание Li в луговых растениях в 1.8 раза выше, чем в степных, коэффициент существенности равен 4.3 при $t_{теор}$ 2.01. В луговой осоковой растительности избыточного увлажнения на лугово-болотных почвах среднее содержание Li выше в

1.2 раза, чем в луговой нормальной увлажненности, хотя это различие недостоверно: $t_{факт}$ 0.55 при $t_{теор}$ 2.02. Максимальная концентрация Li в осоковых растениях достигала 15 мг/кг. Это может быть частично за счет вклада поглощения его из водной фазы, интенсивность которого, по оценкам А.Л. Ковалевского, на порядок выше, чем из минеральной. Содержание Li в поверхностных и грунтовых водах региона составляло 1.4–8.2 мкг/л. Среднее содержание его в речных водах – 3.0, в подземных – 13 мкг/л [35].

Большее содержание Li выявлено в луговой разнотравной и осоковой растительности пойменных ландшафтов соседних Иволгинской и Гильберинской котловинах – в среднем 6.39 ± 1.71 мг/кг (колебания 2.26–15.0), а также в растительности Гусиноозерской котловины – среднее 4.44 ± 0.78 мг/кг (2.3–6.5). В растительности восьми ключевых площадок содержание Li превышало токсический уровень для этого элемента (5.0–15.0 мг/кг). В растительности остальных 34 площадок содержание Li находилось в пределах 1.4–4.7 мг/кг.

Содержание Li в культурных растениях, предназначенных для кормов (в основном это овес или смеси овса с горохом), различалось в 2.5 раза. На 11-и площадках содержание Li составляло 1.5–1.95, на восьми в пределах 2.0–2.28 и на четырех – 3.30–3.70 мг/кг.

Корреляционный анализ показал отсутствие значимой связи между содержанием Li в степных, луговых и культурных растениях и его содержанием в почвах: $t_{факт} < t_{теор}$.

Сопоставление с имеющимися критериями (среднее в растительности континентов – 1.5 мг/кг [12], токсичные 5–50 мг/кг [43]) показало, что содержание Li в надземной массе растений степных и агроландшафтов находится в нормальных количествах, а в луговых на 34 ключевых площадках в пределах нормы, на 8 – в избыточных концентрациях.

Накопление Li в степных, луговых и культурных растениях и вынос его урожаем зависят, прежде всего, от биологической продуктивности. В степной растительности, продуктивность которой в 7.7–8.0 раз ниже, чем луговой и культурной, вынос Li был ниже, чем в луговой нормальной увлажненности в 10.4 раз, в луговой избыточного увлажнения в 13.0, культурной в 8.7 раз.

Между продуктивностью степных фитоценозов (ц/га) и накоплением Li в урожае надземной массы (г/га) r равен +0.96 ($t_{факт}$ 9.3, $t_{теор}$ 2.3), луговых фитоценозов – +0.74 ($t_{факт}$ 4.1, $t_{теор}$ 2.2), а между содержанием Li в фитомассе (мг/кг) и его накоплением в урожае степной растительности корреляция отсутствует ($r = 0.34$, $t_{факт}$ 1.0, $t_{теор}$ 2.3), а луговой – корреляция значимая ($r = 0.67$, $t_{факт}$ 3.9, $t_{теор}$ 2.2).

Таблица 7. Вариационно-статистические показатели содержания и накопления лития в степной, луговой и культурной растительности Забайкалья

Растительность	n	Содержание Li, мг/кг сухой массы			Урожай надземной массы, ц/га			Накопление Li в урожае, г/га		
		$M \pm m$	пределы варьирования	V, %	$M \pm m$	пределы варьирования	V, %	$M \pm m$	пределы варьирования	V, %
Степная (в целом):	17	1.94 ± 0.09	1.16–2.58	19	7.1 ± 0.7	4.3–10.6	30	1.46 ± 0.16	0.83–2.06	34
холоднопо- лынная	7	1.84 ± 0.14	1.16–2.19	20	6.8 ± 0.8	5.0–9.8	27	1.37 ± 0.20	1.05–2.15	33
разнотравно- злаковая	6	2.01 ± 0.15	1.24–2.58	21	8.6 ± 0.8	6.2–10.6	21	1.79 ± 0.23	1.17–2.16	28
разнотравная	4	1.89 ± 0.12	1.16–2.30	18	5.5 ± 0.4	4.3–6.7	17	1.13 ± 0.05	0.83–1.29	10
Луговая (в целом):	42	3.44 ± 0.26	1.40–8.85	44	45.4 ± 2.1	25.0–61.2	22	15.32 ± 1.62	8.60–21.1	39
злаковая	14	3.65 ± 0.30	3.0–4.7	18	33.3 ± 2.9	25.0–42.0	22	12.15 ± 1.06	9.12–15.33	19
разнотравно- злаковая	16	3.19 ± 0.42	1.4–5.0	37	49.3 ± 2.6	44–56	11	15.72 ± 0.83	14.1–17.9	30
осоковая	12	4.03 ± 1.04	2.07–15.0	64	47.2 ± 3.8	35.6–61.2	21	19.02 ± 1.53	14.4–24.6	52
Культурная:										
злаковая	18	2.42 ± 0.15	1.50–3.70	26	43.7 ± 4.8	24.0–62.4	30	10.6 ± 0.81	5.8–15.1	44
злаково-бобо- вая	5	1.90 ± 0.06	1.80–2.02	7	64.7 ± 5.6	49.2–74.8	25	12.3 ± 1.18	9.3–14.2	29

Примечание. Среднее значение в растительности суши – 1.5 мг/кг [12], избыточная концентрация 5–50 мг/кг [43].

Сравнение с 10-балльной шкалой по урожаю биомассы [4] позволило отнести степную растительность в связи с низкой водообеспеченностью (150–200 мм осадков за вегетацию) к очень малопродуктивной (1 балл < 10 ц/га), а луговую и культурную к малопродуктивной (3, 4 балла – 26–40 ц/га). Поэтому накопление Li луговых в 1.4, культурных растений в 1.9, а степных в 14.3 раза ниже, чем в среднем захват Li годовым приростом растительности суши – 21.5 г/га [12].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разнообразие литохимической и минералогической основы коренных и почвообразующих пород Западного Забайкалья обуславливает неравномерность содержания в них Li. Диапазон различий содержания Li в делювиальных и аллювиальных почвообразующих породах региона составлял 2.5–2.7 раза, а среднее региональное значение сопоставимо с кларком земной коры и осадочных пород. Самое низкое содержание Li выявлено в делювии граносиенитов лесостепных ландшафтов, а самое высокое – в элювио-делювии биотитовых гранитов степных ландшафтов.

Между содержанием Li в почвообразующих породах и формирующихся на них почвах сохраняется тесная связь, что подтверждается значимыми коэффициентами корреляции. Содержа-

ние Li в серых лесных, черноземах, каштановых и аллювиальных темногумусовых почвах различалось в 2.4 раза, кларк концентрации среднего регионального от кларка в почвах составил 1.2. Наименьшее количество Li – в серых лесных почвах, наибольшее – в черноземах дисперсно-карбонатных. Между содержанием Li в почвах и гумусом корреляция отсутствует.

В пространственном распределении Li установлено пониженное содержание его в почвах северной части (лесостепные ландшафты) по сравнению с центральной (степные) и южной (сухостепные ландшафты). Причиной является более высокое содержание биотита в элювио-делювии биотитовых гранитов южной части по сравнению с делювием граносиенитов северной.

Во внутривертикальном распределении Li наибольшие различия выявлены в черноземе, а минимальные – в серой лесной почве. Распределение Li в профиле почв находится в прямой связи с содержанием полевых шпатов, основным носителем элемента, и не зависит от pH и гумуса, что обусловлено низким содержанием органического вещества в почвах региона и слабой подвижностью элемента в разных геохимических обстановках.

Вариации содержания Li в растительности степных и луговых ценозов достигали 12.5 раза. Это связано как с биологическими особенностями растений и соотношением ботанических групп в

ландшафтах, так и с разной биодоступностью элемента в почвах. Самое низкое содержание Li в растительности степных ландшафтов, а наибольшее (в 3.3 раза) — в лугово-болотной растительности. Между содержанием Li в фитомассе степных, луговых и агроценозов и его содержанием в почвах корреляция отсутствует. Коэффициент концентрации Li в растительности региона равен 1.3–2.3 от его среднего содержания в растительности континентов. На восьми ключевых площадках луговых ландшафтов выявлены избыточные концентрации Li в растительности. Интенсивность биологического поглощения Li растительностью региона из почв выше его среднего коэффициента биологического поглощения растительностью суши в 1.5–1.8 раза.

Накопление Li в растительности луговых и агроландшафтов на единицу площади в 8.4–13 раз больше, чем в степных ландшафтах. Геохимическая роль растений в отношении Li определяется в большей степени продуктивностью биомассы и в меньшей — структурой сообществ и уровнем содержания его в фитомассе.

Благодарность. Работа выполнена в рамках темы госзадания: номер госрегистрации АААА-А17-117011810038-7.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
2. Алесковский В.Б., Бардин В.В., Бойчинова Е.С. Физико-химические методы анализа. Л.: Химия, 1988. 376 с.
3. Асылбаев И.Г., Хабиров И.К. Содержание щелочных и щелочно-земельных металлов в почвах Южного Предуралья // Почвоведение. 2016. № 1. С. 29–38. doi 10.7868/S0032180X16010020
4. Базилевич Н.И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. М.: Наука, 1993. 293 с.
5. Бертини И., Грей Г., Валентине Дж. Биологическая неорганическая химия: структура и реакционная способность. М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2013. Т. 1. 456 с.
6. Бондарева Т.Н., Тхагансу А.Ю., Шеуджен А.Х. Влияние литиевого удобрения на минеральное питание и продуктивность растений риса // Агрохимия. 2009. № 7. С. 20–25.
7. Боровик-Романова Т.Ф., Белова Е.А. Содержание лития в растениях и почвах // Биологическая роль микроэлементов и их применение в сельском хозяйстве и медицине. М.: Наука, 1974. С. 119–122.
8. Владимиров А.Г., Ляхов Н.З., Загорский В.Е. и др. Литиевые месторождения сподуменовых пегматитов Сибири // Химия устойчивого развития. 2012. Т. 20. № 1. С. 3–20.
9. Водяницкий Ю.Н. Нормативы содержания тяжелых металлов и металлоидов в почвах // Почвоведение. 2012. № 3. С. 368–375.
10. ГОСТ 2874-82 “Вода питьевая” и СанПин № 4680–88.
11. Григорьев Н.А. Среднее содержание химических элементов в горных породах, слагающих верхнюю часть континентальной коры // Геохимия. 2003. № 7. С. 785–792.
12. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М.: Академия, 2003. 400 с.
13. Добровольский В.В. Геохимия почв и ландшафтов. М.: Научный мир, 2009. 752 с.
14. Загузина Н.А., Рузавин Ю.Н. Минералогический состав почв Бурятии и содержание в них различных форм соединений калия // Почвенные ресурсы Забайкалья. Новосибирск: Наука, 1989. С. 59–66.
15. Канищев А.Д., Менакер Г.И. Среднее содержание 15 рудообразующих химических элементов в земной коре Центрального и Восточного Забайкалья. Чита: Изд-во Министерства геологии РСФСР, 1972. 11 с.
16. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. М.: Наука, 2004. 677 с.
17. Ловкова М.Я., Соколова С.М., Бузук Г.Н. Лекарственные растения — концентраторы лития и их применение в медицине // Доклады АН. 2007. Т. 412. № 5. С. 713–715.
18. Макрыгина В.А., Суворова Л.Ф. Спессартин в зеленосланцевой фации: условия проявления // Геохимия. 2011. № 3. С. 314–323.
19. Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах. М.: Мысль, 1978. 183 с.
20. Мотузова Г.В. Соединения микроэлементов в почвах: Системная организация, экологическое значение, мониторинг. М.: Книжный дом “ЛИБРОКОМ”, 2009. 168 с.
21. Ногина Н.А. Почвы Забайкалья. М.: Наука, 1964. 314 с.
22. Охрименко М.Ф. Физиологическое значение лития для растений // Микроэлементы в окружающей среде. Киев: Наукова думка, 1980. С. 115–119.
23. Перельман А.И. Геохимия. М.: Высш. школа, 1979. 423 с.
24. Петрова З.И. Петролого-геохимическая характеристика Джидинского интрузивного комплекса // Геохимия редких элементов в магматических комплексах Восточной Сибири. М.: Наука, 1972. С. 5–47.
25. Площев В.Е., Степина С.Б., Федоров П.И. Химия и технология редких и рассеянных элементов. М.: Высшая школа, 1976. Ч. 1. 368 с.
26. Ребров В.Г., Громова О.В. Витамины, макро- и микроэлементы. М.: ГЕОТАР-Медиа, 2008. 960 с.
27. Росляков Н.А., Ковалев В.П., Сухоруков Ф.В. и др. Экогеохимия Западной Сибири. Тяжелые металлы и радионуклиды. Новосибирск: Изд-во СО РАН, ОИГГМ, 1996. 248 с.
28. Солодов Н.А., Балашов Л.С., Кременецкий А.А. Геохимия лития, рубидия и цезия. М.: Недра, 1980. 233 с.
29. Торшин Ю.И., Громова О.А. Экспертный анализ данных в молекулярной фармакологии. М.: МЦНО, 2012. 747 с.
30. Требования к производству и результатам многоцелевого геохимического картирования. М.: ИМГРЭ, 2002. 92 с.

31. *Цыбжитов Ц.Х., Цыбжитов А.Ц.* Почвы бассейна озера Байкал. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2000. 165 с.
32. *Чартко Н.А., Чартко Э.Н.* Геохимия и экология химических элементов. Минск: Издат. центр БГУ, 2008. 140 с.
33. *Чернова О.В., Бекецкая О.В.* Допустимые и фоновые концентрации загрязняющих веществ в экологическом нормировании (тяжелые металлы и другие химические элементы) // Почвоведение. 2011. № 9. С. 1102–1113.
34. *Швадус М.И.* Петрология материнских гранитоидов фтор-редкометалльных месторождений Западного Забайкалья. Новосибирск: Наука, 1980. 72 с.
35. *Шварцев С.Л.* Гидрогеохимия зоны гипергенеза. М.: Недра, 1998. 366 с.
36. *Ягодин Б.А., Ступакова Г.А., Виноградова С.Б.* Физиологическая роль лития и факторы, влияющие на его поступление в растения // Агрохимия. 1989. № 7. С. 116–121.
37. *Bove M.A., Ayuso R.A., De Vivo B. et al.* Geochemical and isotopic study of soils and waters from an Italian contaminated site: Agro Aversano (Campania) // J. Geochem. Exploration. 2011. V. 109. № 1–3. P. 38–50.
38. *Chen J., Wei F., Zheng C. et al.* Background concentrations of elements in soils of China // Water, Air and Soil Pollution. 1991. V. 57–58. P. 699–712.
39. *Devies B.E., Binafo C., Phillips R.M. et al.* Aqua regia extractable trace elements in surface soils of Venezuela // Environ. Geochem. Health. 1999. V. 21. P. 227.
40. *Gold A.B., Herrmann N., Lancot K.L.* Lithium and its neuroprotective and neurotrophic effects: potential treatment for post-ischemic stroke sequelae // Curr. Drug. Targets. 2011. V. 12(2). P. 243–255.
41. *Govindaraju K.* Compilation of working values and sample description for 383 geostandarts // Geostand. Newslett. 1994. V. 1. P. 18.
42. *Eriksson J.* Concentrations of 61 trace elements in sewage sludge, farmyard manure, mineral fertilizer, precipitation and in oil and crops. Swedish environmental protection agency, 2001. 69 p.
43. *Kabata A.* Trace Elements in Soils and Plants. 4th ed. CRC Press Taylor and Francis Group. Boca Raton–London–New York, 2011. 534 p.
44. *Kashin V.K.* Vanadium in landscape components of the Western Transbaikal region // Eurasian Soil Sci. 2017. V. 50. № 8. P. 1154–1165. doi 10.1134/S1064229317080051
45. *Machado-Vieira R., Manji H.K., Zarate C.A.* The role of lithium in the treatment of bipolar disorder: convergent evidence for neurotrophic effects as a unifying hypothesis // Bipolar Disord. 2009. V. 11. Suppl. 2. P. 92–109.
46. *Takeda A., Kimura K., Yamasaki S.-L.* Analysis of 57 elements in Japanese soils, with special reference to soil group, and agricultural use // Geoderma. 2004. V. 119. P. 291–307.
47. *Tume P., Bech J., Reverter F. et al.* Concentration and distribution of twelve metals in Central Catalonia surface soils // J. Geochem. Exploration. 2011. V. 109. № 1–3. P. 92–103.
48. *Young W.* Review of lithium effects on brain and blood // Cell Transplant. 2009. V. 18. № 9. P. 951–975.

Lithium in Soils and Plants of the Western Transbaikal Region

V. K. Kashin^{a,*}

^a*Institute of General and Experimental Biology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Sakh'yanovoi 6, Ulan-Ude, Buryat Republic, 670047 Russia*

^{*}*e-mail: kashin-39@mail.ru*

The contents of lithium in parent materials, soils, and plants of forest-steppe, steppe, and dry-steppe landscapes of the Transbaikal region have been studied. The average content of Li in the parent materials is 1.1 times higher than the Clarke (natural abundance) of this element in the Earth crust, and the average content of Li in the studied soils is 1.1–1.3 times higher than the Clarke of this element in soils of the world. The content of Li in the soils is closely correlated with its content in the parent materials and does not correlate with the soil humus content and with Li content in the plants. Lateral and vertical distribution patterns of Li in soils of the studied landscapes are described. According to the coefficients of the biological uptake of Li by steppe, meadow, and agrocenoses from soils (1.2–2.4), this element belongs to the group of moderate accumulation. The average contents of Li in steppe and meadow plants and in grown crops is 1.3–2.3 times higher than its average content in terrestrial vegetation. In plants of eight key plots established in meadow cenoses, Li concentrations reached toxic values (5–15 mg/kg). The accumulation of Li in meadow plants per unit area is 10.5 times higher than that in dry-steppe plants.

Keywords: parent material, coefficient of biological uptake, accumulation, Luvisols, Chernozems, Kastanozems, Fluvisols