

ЭКСПЕРИМЕНТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХЛОРИДА ЛИТИЯ ДЛЯ ИЛЛЮСТРАЦИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ПОЧВАХ ХОЛОДНОЙ ПУСТЫНИ

Г. Г. С. Кларидж, И. Б. Кэмпбелл

Земельно-почвенная консультационная служба, Вьюмаунт, 23, Нельсон, Новая Зеландия

Путем наблюдения в течение нескольких лет за вносимым в определенных дозах на поверхность почвы хлоридом лития были получены экспериментальные данные о скорости перемещения солей в профилях почв Антарктиды. Результаты показали, что на влажных участках через три года после внесения хлорида лития его следы обнаруживаются на расстоянии до 5 м вниз по склону. На наиболее сухом участке за период наблюдений имело место нулевое или очень слабое перемещение соли.

Таким образом, можно утверждать, что на сухих участках, наиболее типичных для свободной от льда территории Антарктики, случайно попадающие на почву загрязняющие вещества мигрируют лишь на очень небольшие расстояния, тогда как на влажных загрязнители гораздо подвижнее и в конечном итоге перемещаются на нижние отметки соответствующего бассейна.

Антарктика, многолетняя мерзлота, почва, загрязнение, миграция солей

EXPERIMENTAL USE OF LITHIUM CHLORIDE TO ILLUSTRATE THE MOVEMENT OF CONTAMINANTS IN SOILS OF THE COLD DESERT

G. G. C. Claridge, I. B. Campbell

Land and Soil Consultancy Services, 23 Viewmount, Nelson, New Zealand

Experimental evidence of the rate at which salts move through Antarctic soils was obtained by following the fate of lithium chloride added to soil surfaces in a controlled manner over a period of several years. The results showed that at moist sites, where moisture is available from the melting of a nearby patch of snow, traces of lithium could be detected up to 5 m downslope after three years, while at the driest of the sites, in the Wright Valley, little or no movement had taken place during the duration of the study.

In dry sites, typical of most of the ice-free areas of Antarctica, accidentally spilt contaminants will only move a short distance from the spill site, whereas on wet sites the contaminants will eventually move more rapidly and be translocated to the lowest point in the drainage system.

Antarctica, permafrost, soil, contamination, movement of salt

ВВЕДЕНИЕ

По мере освоения Антарктики возрастает опасность загрязнения ее почв, особенно в окрестностях научно-исследовательских станций и экспедиционных баз. В настоящее время Конвенция о защите окружающей среды запрещает утечку загрязнителей, однако известно, что таковая имела место в прошлом. В связи с этим необходимо иметь представление о судьбе таких материалов как сточная вода, аккумуляторный электролит, урина и др., попадающих на поверхность почвы.

Почвы Антарктики в основном сухие и засоленные. Соли аккумулируются на поверхности или близ нее, что является результатом перемещения влаги от сцементированной льдом многолетней мерзлоты к поверхности, а также поступления влаги в почву при таянии снега [Campbell, Claridge, 1982]. На разных участках состав и содержание солей различны.

Соли в антарктических почвах со временем мигрируют, о чем свидетельствуют формирование горизонтов их аккумуляции, присутствие солевых нодулей под некоторыми лежащими на поверхности обломками породы и периодически появляющиеся солевые выпоты. Перемещение солей связано с градиентами влажности, которые, в свою очередь, являются функцией динамики почвенной влаги и истории формирования ландшафта.

Вода поступает на поверхность почвы главным образом при таянии снега и капиллярно мигрирует через почву. Тонкие пленки жидкости, образованные исключительно концентрированным солевым раствором, остаются незамерзшими даже при низких температурах [Ugo lini, Anderson, 1973]. Внутри почвы имеют место значительные градиенты влажности.

Ранее уже были опубликованы некоторые экспериментальные данные о перемещении загрязняющих веществ в почвах Антарктиды. Кларидж с соавторами [Claridge et al., 1995] изучали распространение ионов тяжелых металлов от точечных источников загрязнения в Марбл-Пойнте по берегам Мак-Мердо Саунд. Было обнаружено, что в сухих почвах этого участка медь, свинец и цинк за 30 лет переместились не более, чем на 30 см от источника. При рН, характерных для антарктических почв, эти ионы имеют тенденцию к образованию нерастворимых гидроокисей.

На станции Ванда, расположенной у оз. Ванда в долине Райт, установлено [Sheppard et al., 1994], что растворенные в сточной воде детергенты, фотореактивы и другие вещества встречаются на расстоянии до 50 м от площадки, где в течение 25 лет ежегодно выливалось около 3000 л сточных вод. Почвы этого участка переувлажнены в силу того, что из-за фильтрации озерной воды зеркало грунтовых вод расположено близко к поверхности. В этих условиях количество воды было достаточным для перемещения растворимых компонентов.

Чтобы уточнить наши представления о миграции солей в естественных условиях и в результате случайных загрязнений мы поставили эксперимент по изучению перемещения хлорида лития, внесенного в почвы с тремя различными режимами увлажнения. Хлорид лития был использован как заменитель других солей, поскольку он входит в состав естественных почвенных соединений, но обычно присутствует в очень небольших количествах. В концентрациях, близких к концентрациям других растворимых компонентов антарктических почв, хлорид лития легко определяется количественно.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Выбор экспериментальных участков. Для эксперимента были выбраны три участка, различающиеся по степени увлажнения. Один из них располагается близ оз. Ванда в долине Райт, два других — близ ст. Скотт-Бейс на острове Росса (рис. 1).

Участок близ оз. Ванда представляет собой ровную поверхность на склоне конуса выноса западной экспозиции. Уклон 9°. Количество осадков около 15 мм, снег на этом участке не накапливается. Почвы очень сухие, средняя их влажность за период эксперимента составляла 0,60 %.

Близ ст. Скотт-Бейс один из участков расположен на небольшом, сравнительно ровном плато. В ходе нечастых и непродолжительных снегопадов здесь выпадает около 60 мм осадков; снег же, переносимый ветром, не накапливается.

Почвы данного участка преимущественно сухие, их средняя влажность в пределах деятельного слоя за период эксперимента составляла 4,4 %. Другой участок располагался примерно в 30 м от первого, в верхней части небольшого оврага. На этом месте снег аккумулируется в течение зимы и часто остается нарастающим до позднего лета. Почвы этого участка имеют значительно больший запас влаги, их средняя влажность за период эксперимента составляла 8,5 %. Дальше по оврагу, ниже экспериментального участка в конце лета появляются стекающие по склону эфемерные водотоки, здесь почвы характеризуются значительно более высокой влажностью.

Внесение хлорида лития. На каждом из трех участков были маркированы по контуру четыре площадки размером 1 м². Три площадки были политы десятью литрами раствора, содержащего 8 г хлорида лития на литр. Раствор вносился путем разбрызгивания так, чтобы площадка была полностью и равномерно увлажнена, а ее поверхность не нарушалась потоком воды. Четвертая площадка на каждом из участков поливалась подобным же образом 10 л чистой воды (контроль).

На участке близ оз. Ванда было достаточно места для закладки повторного эксперимента, на площадках же близ ст. Скотт-Бейс такая возможность отсутствовала.

Отбор образцов. На участке близ Ванды, где почвы рыхлые и несвязные, разрезы выкапывались на глубину 50 см. В заложенных по соседству контрольных разрезах многолетняя мерзлота отсутствовала даже на глубине 1 м. В районе же ст. Скотт-Бейс разрезы выкапывались до глубины залегания сцементированного льдом слоя (35—40 см) в центре одной из площадок и через 1—2 м вниз по склону от площадки. Были взяты также образцы мерзлого материала с помощью полого бура с алмазным наконечником. В районе Ванды образцы отбирались на опытных и контрольных площадках в сроки 8 дней, 12 месяцев и 23 месяца со дня внесения соли. В районе ст. Скотт-Бейс отбор образцов производился в сроки 7 дней, 23 месяца и 36 месяцев после внесения соли. Кроме того, с контрольных площадок через 7—8 дней после внесения соли были отобраны образцы для определения влажности. Образцы отбирались единожды, при этом предполагалось, что образец весом около 1 кг достаточно велик для того, чтобы охватить незначительное варьирование в пределах зоны опробования.

Аналитическая обработка. Образцы взвешивали в полевых условиях и после высушивания при 105 °С, по разности рассчитывали содержание влаги. Из образцов выделяли мелкозем (частицы с диаметром меньше 2 мм), после

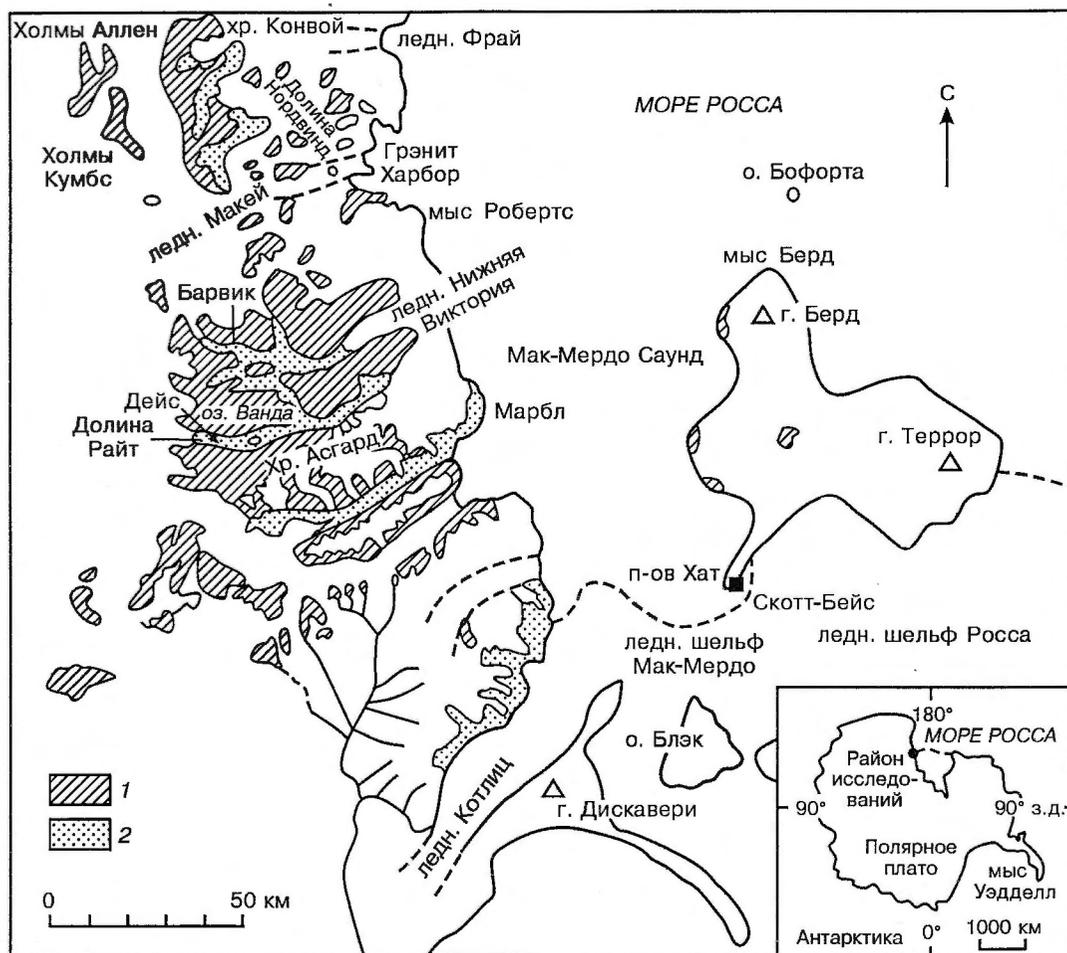


Рис. 1. Карта местности.

1 — территории без льда, 2 — морена.

чего готовили 0,1M NaCl-вытяжку (отношение почвы к экстрагенту 1 : 5). Содержание лития в экстракте определяли методом пламенно-эмиссионной спектроскопии.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Определения влажности в почвах контрольных площадок района ст. Скотт-Бейс показали, что вносимая в почву вода испарилась за 7 дней с момента внесения. На участках в районе Ванды значения влажности сохранялись на уровне 1—2 % в течение 8 дней после внесения, но через 12 месяцев не отличались от исходных. Последнее говорит о том, что эксперимент не оказывает постоянного влияния на состояние почвенной

влаги, и потому полив водой, содержащей хлорид лития, может быть признан приемлемым методом внесения соли на поверхность почвы.

На рис. 2 показано содержание лития в почвах трех экспериментальных участков*. На опытных площадках со временем наблюдалось очень слабое изменение содержания этого элемента или небольшое его снижение. Большая часть Li^+ -иона концентрировалась у поверхности, и лишь небольшие количества проникали глубже. В окрестностях оз. Ванда (см. рис. 2,а), где почва очень сухая, хлорид лития проникал в глубь лишь на 15 см. На „сухом“ участке в районе ст. Скотт-Бейс (см. рис. 2,б), где влажность выше, почва в момент постановки экс-

* Оригинальные аналитические данные могут быть получены у авторов по запросу.

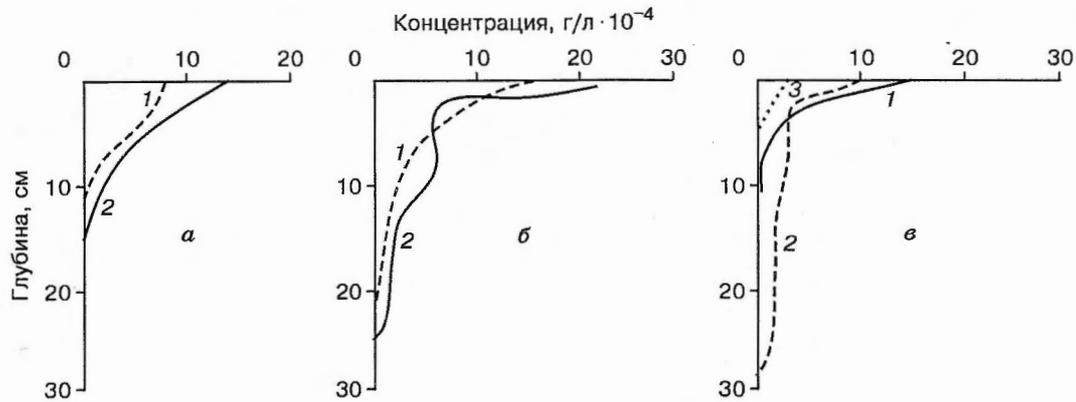


Рис. 2. Графики содержания лития в NaCl-вытяжке (1 : 5) из почв экспериментальных участков Ванда и Скотт-Бейс.

a — Ванда, сухой участок. Сроки определения: 1 — через 12 месяцев, 2 — через 23 месяца со дня внесения; *b* — Скотт-Бейс, сухой участок. Сроки определения: 1 — через 7 дней, 2 — через 36 месяцев со дня внесения; *v* — Скотт-Бейс, влажный участок. Сроки определения: 1 — через 7 дней, 2 — через 36 месяцев со дня внесения; 3 — в 1 м ниже по склону от места внесения через 36 месяцев.

перимента увлажнялась и обогащалась литием до глубины 25 см, а на „влажном“, где влажность еще выше (см. рис. 2, *v*), глубина проникновения соли составила 28,5 см.

На участке Ванда и на сухом участке в районе ст. Скотт-Бейс со временем наблюдалось слабое уменьшение содержания лития, но признаки его миграции вниз по профилю обнаружены не были. При этом на сухом участке в районе Скотт-Бейса на площадках, расположенных в 1 и 2 м вниз по склону от места внесения соли, в слое, лежащем над цементированной льдом многолетней мерзлотой, были обнаружены следы Li^+ . Это говорит о том, что в периоды, когда влажность почвы была достаточно высока, имело место перемещение небольших количеств этого элемента вдоль поверхности мерзлотного водопора.

На влажном участке в районе Скотт-Бейса ионы Li^+ в пределах опытных площадок проникли глубже по профилю и были зафиксированы даже в цементированной льдом многолетней мерзлоте. При этом заметные количества лития были обнаружены на расстоянии 1 и 2 м, а следовые — до 5 м вниз по склону.

ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам настоящего исследования наблюдается очевидная связь между влажностью почвы и расстоянием, на которое распространяются ионы лития. На участках, где влажность выше (как влажный участок в районе ст. Скотт-Бейс), наблюдалось значительное перемещение Li^+ вниз по склону. Миграция происходила глав-

ным образом по поверхности, которая легче увлажняется при таянии снега, но наблюдалось также и распространение иона в глубь почвы.

На сухом же участке Скотт-Бейса, где влаги значительно меньше, Li^+ перемещался главным образом вниз по профилю и лишь в небольших количествах по склону, вдоль поверхности цементированной льдом мерзлоты. По-видимому, в надмерзлотном слое при таянии льдонасыщенного материала в условиях, когда температура заморзания хотя бы немного понижается из-за присутствия солей, влажность почвы может достигать значений, необходимых для миграции этого иона. На очень сухом участке района оз. Ванда, где содержание влаги чрезвычайно низкое, перемещение лития не происходило вообще.

Таким образом, при внесении или пролитии соляных растворов на поверхность почвы, большая часть солей останется в приповерхностном слое, а небольшие количества капиллярно мигрируют вниз по профилю до той глубины, где температура достигает точки заморзания. В почвах прибрежных регионов, большинство из которых имеют в профиле цементированный льдом горизонт многолетней мерзлоты, солевые растворы с пониженными температурами заморзания могут проникать в мерзлый слой. Это явление усиливается при концентрировании растворов в результате испарения и вымораживания избыточной влаги. Даже если раствор загрязняющих веществ изначально имеет недостаточно высокую концентрацию для того, чтобы существенно понизилась точка заморзания, его ионная сила может возрастать за счет растворения имею-

щихся в почве солей, обеспечивая тем самым проникновение загрязнителей в многолетнемерзлый горизонт.

При достаточно высокой влажности почвы, как, например, на влажном участке в районе Скотт-Бейса, поступающие на поверхность соли мигрируют как вниз по профилю, так и латерально через толщу почвы, и частично — по поверхности сцементированной льдом мерзлоты. Поэтому здесь через 3 года наблюдалась заметная убыль соли на месте ее внесения. Признаков восходящей миграции вносимых в почву солей, т. е. выцветов LiCl на поверхности, за время эксперимента обнаружено не было. Это может быть объяснено тем, что хлорид лития гидрофилен и адсорбирует влагу из атмосферы. Выцветы менее гидрофильных солей, таких как хлорид натрия или сульфат натрия, часто обнаруживаются в окрестностях экспериментального участка Скотт-Бейс, особенно в зонах нарушения поверхности и вытаивания подповерхностного льда.

ВЫВОДЫ

Большинство случайных загрязнений (аккумуляторной кислотой, уриной и др.) характеризуются малыми объемами жидкости — гораздо меньшими, чем примененные в нашем эксперименте 10 л на 1 м². Основываясь на результатах данного исследования можно ожидать, что на сухих участках эти вещества не будут проникать в почву глубже, чем проникал хлорид лития. Загрязнение будет распространяться медленнее на территориях, расположенных внутри континента, где более сухой климат. При этом надо иметь в виду, что высокое содержание солей в почве может оказывать влияние на миграционную способность загрязнителей.

На влажных участках условия иные; здесь растворимые компоненты разливаемых жидкостей будут мигрировать со скоростью, зависящей от влажности почвы. Влажным может считаться любой участок ветровой аккумуляции снега, да-

же и при низком уровне осадков для данной территории. Перемещение растворов будет происходить под уклон к дренирующему водоему или котловине — океану, бессточной западине, засоленному озерцу или большому озеру, подобному оз. Ванда.

На сухих участках растворимые ионы будут оставаться близ места разлива и могут быть легко удалены с помощью очистительных мероприятий. На влажных же участках растворимый компонент вероятнее всего будет постепенно мигрировать в дренирующий водоем или котловину и там аккумулироваться. Поэтому в последнем случае очистке от загрязнителей необходимо уделять больше внимания, особенно если данное урочище принадлежит к замкнутой дренажной системе. Если зона загрязнения расположена у моря, то загрязнители будут удаляться естественным путем, т. е. переноситься в океан и растворяться там до незначительных концентраций.

Авторы благодарят Новозеландский фонд исследований, науки и технологии и Совет новозеландской грантовой лотереи за финансовую поддержку, а также Новозеландскую антарктическую программу за материально-техническую помощь.

Литература

- Campbell I. B., Claridge G. G. C. The influence of moisture on the development of soils of the cold deserts of Antarctica // *Geoderma*, 1982, 28, p. 212—238.
- Claridge G. G. C., Campbell I. B., Powell H. K. J. et al. Heavy metal contamination in some soils of the McMurdo Sound region, Antarctica // *Antarctic Science*, 1995, № 7, p. 9—14.
- Sheppard D. S., Campbell I. B., Claridge G. G. C., Deely J. M. Contamination of soils around Vanda Station, Antarctica // *Inst. of Geological and Nuclear Sciences, Sci. Rep.*, 1994, 94/20, 140 p.
- Ugolini F. C., Anderson D. M. Ionic migration and weathering in frozen Antarctic soil // *Soil Science*, 1973, 115, p. 461—470.

Поступила в редакцию
16 сентября 1997 г.