

**Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:**

*Носкова Е.В.* Природный гелиоэнергетический потенциал Забайкальского края // Географический вестник = Geographical bulletin. 2017. №4(43). С.105–112. doi 10.17072/2079-7877-2017-4-105-112

**Please cite this article in English as:**

*Noskova E.V.* Natural solar energy potential of Zabaikalsky Krai // Geographical bulletin. 2017. №4(43). P. 105–112. doi 10.17072/2079-7877-2017-4-105-112

УДК 551.51

**В.А. Лобанов, К.С. Кириллина**  
**ОТКЛИК КЛИМАТИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ**  
**НА СОВРЕМЕННОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ КЛИМАТА В РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ)**

*Российский государственный гидрометеорологический университет,  
Санкт-Петербург*

Рассматривается проявление современного потепления климата в динамике таких основных климатических индикаторов, как число и площади пожаров, температура почвы на разных глубинах, максимальные расходы и уровни воды весеннего половодья на территории Республики Саха (Якутия). Установлено, что резко увеличились дисперсии площадей пожаров в центре и на юго-востоке, ступенчато увеличилась температура почвы, на глубине 3,2 м превышающая нулевую отметку. Вместе с тем максимальные расходы и уровни воды в реках пока в основном остаются стационарными. Полученные эмпирические зависимости между климатическими индикаторами и метеорологическими факторами позволяют получить сценарные оценки будущих изменений этих индикаторов.

**Ключевые слова:** изменение климата, климатические индикаторы, лесные пожары, температура почвы, максимальные расходы и уровни воды.

**V.A. Lobanov, K.S. Kirillina**  
**RESPONSE OF CLIMATE INDICATORS TO THE PRESENT CLIMATE WARMING**  
**IN THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA)**

*Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg*

The current climate warming is shown in the dynamics of such basic climatic indicators as the number and area of fires, the temperature of soil at different depths, the maximum discharges and water levels of snowmelt floods in the Republic of Sakha (Yakutia). It has been established that the variances of fires in the center and in the southeast have sharply increased, the soil temperature has increased stepwise and at the depth of 3.2 m it already exceeds the zero mark. At the same time, the maximum discharges and water levels in rivers are still stationary. The obtained empirical relationships between climatic indicators and meteorological factors make it possible to obtain scenario estimates of future changes in these indicators.

**Key words:** climate change, climatic indicators, forest fires, soil temperature, maximum discharges and water levels.

doi 10.17072/2079-7877-2017-4-112-122

Современное потепление климата – это уже практически неоспоримый факт, который проявляется в температурах приземного воздуха на разном уровне: глобальная, среднегодовая, температуры отдельных месяцев, экстремальные значения и т.д. [3; 5; 8; 15]. Споры могут идти о причинах потепления: только антропогенное или смешанное с естественным; о динамике роста температур: монотонный рост, ступенчатое изменение при переходе от одних стационарных условий к другим или уже приближение к какому-то пределу роста, после которого может наступить спад температуры [1; 4; 12; 13]. Поведение осадков при этом более неоднозначно, так как они в большей степени определяются особенностями влагопереноса, характером их выпадения и местными условиями.

Другой уровень факторов – это климатические индикаторы, т.е. те природные параметры, которые зависят от климата и изменение которых имеет большое практическое значение для жизнедеятельности и экономики. Именно такие климатические индикаторы рассматриваются в рабочих группах МГЭИК, исследующих адаптацию, уязвимость и смягчение воздействий на изменение климата [6; 7; 14; 16].

В настоящей статье исследована динамика трех основных климатических индикаторов на территории Республики Саха (Якутия):

- количество и площади пожаров по отдельным лесничествам, которые характеризуют степень засушливости климата;
- температура почвы на разных глубинах, которая определяет свойства вечной мерзлоты;
- максимальные расходы и уровни воды, характеризующие интенсивность весеннего половодья.

Каждый из рассматриваемых климатических индикаторов является важным фактором для экономики республики. Так, лесные пожары – это не только опасное природное явление, но и фактор, влияющий на лесное и сельское хозяйство, здоровье людей, инфраструктуру. Температура почвы и ее динамика являются важным фактором в сельском хозяйстве, строительстве, транспорте. Максимальные расходы и уровни весеннего половодья определяют как опасные условия затопления, так и показатели гидроэнергетики, сельского и коммунального хозяйства.

Особенности современного и даже будущего изменения температур воздуха и осадков на территории Якутии изучены и представлены в работах [9–11], из которых следует, что температура воздуха выросла и стала более нестационарной в последние годы, относительно осадков такие явные и устойчивые закономерности не установлены, хотя также наблюдается тенденция их роста. Вместе с тем не меньший интерес представляет отклик других природных показателей на изменение температуры и осадков.

Прежде всего, рассматривались количество и площади пожаров естественного происхождения на территории республики за период 1955–2014 гг. на основании информации по 19 лесничествам (рис. 1) [2]. В связи с тем, что лесничества имеют разную площадь, число и площади пожаров были пересчитаны на единицу площади – 1 км<sup>2</sup>. Данные были сопоставлены по территории и выявлены районы с наибольшей интенсивностью пожаров. Рассчитанные коэффициенты корреляции между числом и площадью пожаров свидетельствуют, что эти два показателя практически не связаны между собой и наибольшие коэффициенты корреляции составляют 0,48–0,55 всего для 6 лесничеств. Наибольшая средняя многолетняя относительная площадь пожаров приходится на Якутское, Вилюйское и Амгинское лесничества и составляет соответственно 0,61, 0,42 и 0,36%. В северных лесничествах (Жиганское, Индигирское, Томпонское) относительная площадь пожаров наименьшая и составляет соответственно 0,02, 0,02, 0,06%, что связано как с их существенно большей площадью (рис. 1), так и с более низкой температурой летних месяцев.



Рис. 1. Карта лесничеств и лесозащитное районирование республики Саха (Якутия)

Анализ многолетних графиков числа пожаров позволил установить отсутствие трендов роста числа пожаров, что свидетельствует или о стационарном режиме колебаний, характерных для Ленского, Верхневилуйского, Вилюйского, Мирнинского, Нюрбинского, Горного, Хангаласского, Сунтарского лесничеств, или о росте дисперсии числа пожаров для Якутского и Амгинского (рис. 2). Для остальных лесничеств даже характерно снижение числа пожаров, что наглядно проявляется в Алданском (с 1998 г.), Нерюнгринском (с 2001 г.), Усть-Майском (с 1995 г.), Томпонском (с 1998 г.), Олекминском (с 1997 г.), Жиганском (с 1985 г.), Индигирском (с 1997 г.).

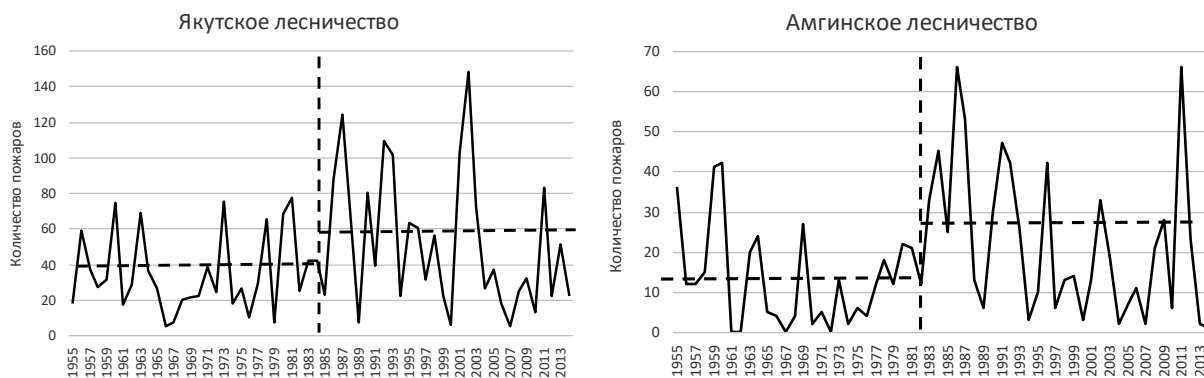


Рис. 2. Динамика числа пожаров в Якутском и Амгинском лесничествах

Анализ многолетних рядов площади пожаров свидетельствует, что каких-либо направленных трендов роста или уменьшения в них нет, а есть периоды разной дисперсии, а также период с практически отсутствием площади пожаров, который разный в разных лесничествах с самым ранним началом – 1965 г. и окончанием – середина, конец 1980-х, а иногда и 1990-е гг. Типичные примеры многолетних рядов площадей пожаров и выделенные в них однородные периоды показаны на рис. 3.

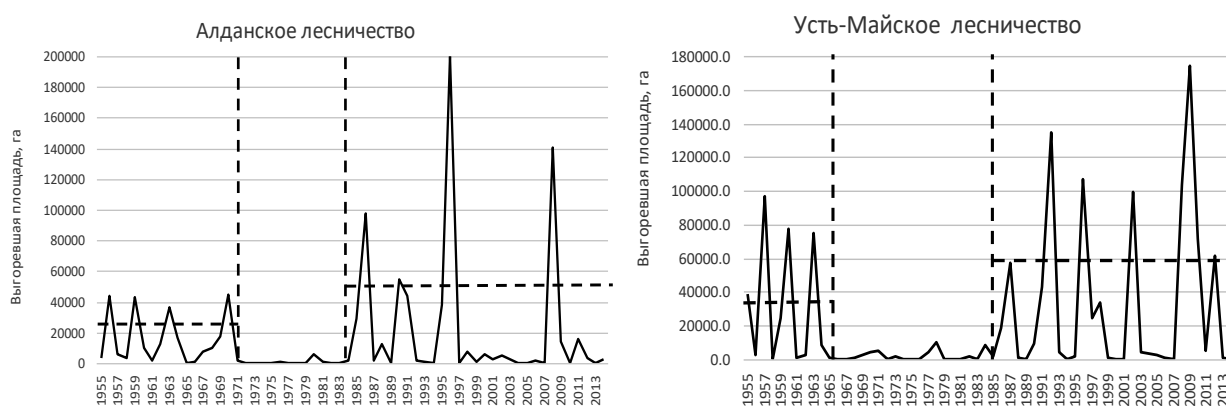


Рис. 3. Многолетние ряды площадей пожаров и выделенные в них однородные периоды

Как следует из рис.3, наиболее существенно изменяется дисперсия площадей пожаров, которая, в свою очередь, приводит и к изменению их средних значений. Вместе с тем в северных лесничествах (Индигирское, Томпонское, Жиганское) каких-либо изменений площадей не установлено. Наибольший рост дисперсий площадей пожаров наблюдается в центральных и юго-восточных лесничествах. В табл. 1 для этих лесничеств приведены периоды однородных дисперсий, рассчитанная статистика критерия Фишера ( $F$ ) – отношение дисперсий, а также отношение средних ( $f_{cp1}/f_{cp2}$ ) и наибольших ( $f_{max1}/f_{max2}$ ) площадей пожаров за два однородных периода. Кроме того, приводится и коэффициент корреляции  $R$  между числом и площадью пожаров, низкие значения которого подтверждают, что число пожаров практически не связано с их площадью. В интервал времени, который находится между этими двумя квазистационарными периодами, площади пожаров были очень малы и его можно считать как период отсутствия пожаров.

Таблица 1

Характеристики площадей пожаров за два квазигомогенных периода

Лесничество	Период 1	Период 2	F	$f_{cp1}/f_{cp2}$	$f_{max1}/f_{max2}$	R
Амгинское	1955–67	1987–2014	1,85	0,89	2,1	0,51
Верхневилуйское	1955–75	1991–2014	52,5	6,84	7,16	0,30
Вилуйское	1955–74	2001–2014	14,08	4,28	3,63	0,10
Горное	1955–71	1992–2014	8,62	1,91	3,89	0,35
Нерюнгринское	1975–97	2007–2014	5,55	1,99	1,53	0,22
Усть-Майское	1955–66	1987–2014	1,84	1,23	1,80	0,20
Якутское	1955–67	2000–2014	3,19	1,20	1,88	0,48
Мегино-Кангаласское	1955–75	1986–2014	7,05	2,61	3,02	0,38
Алданское	1955–72	1984–2014	8,07	1,58	–	0,55

Из результатов табл.1 следует, что для 8 из 10 представленных в ней лесничеств, за исключением Амгинского и Усть-Майского, расчетные значения статистик критерия Фишера превышают критические даже при уровне значимости 1%. Хотя средние значения за два однородных периода различаются существенно (в 2,5 раза в среднем), но их оценка по критерию Стьюдента не производилась, так как эти изменения средних связаны с неоднородностью дисперсий. Для 8 лесничеств со статистически значимым ростом дисперсий площадей пожаров были выбраны предполагаемые климатические факторы: температура воздуха и осадки как за каждый летний месяц, так и средние за сезон, а также как за весь непрерывный совместный период с 1955 по 2014 г., так и только за два квазистационарных полупериода. В результате получены следующие наиболее эффективные регрессионные зависимости за однородные периоды

$$F_{\text{пож}} = 26,18 T_6 - 11,64 T_5 - 0,166 P_8 - 4,438 T_7 - 202,8 \quad (\text{Нерюнгринское, 1999–2013}), R=0,93, \quad (1)$$

$$F_{\text{пож}} = 10,157 T_{\text{лет}} - 7,394 T_5 - 113,33 \quad (\text{Вилуйское, 1955–74}), R=0,88, \quad (2)$$

$$F_{\text{пож}} = -1,322 P_9 + 20,60 T_8 - 254,2 \quad (\text{Якутское, 2000–2013}), R=0,68, \quad (3)$$

$$F_{\text{пож}} = 25,6 T_5 + 8,62 T_6 + 16,13 T_8 + 12,4 T_9 - 80,57 T_{\text{сез}} - 0,792 P_7 - 1,02 P_9 + 471,1 \quad (\text{Усть-Майское, 1987–2013}), R=0,65, \quad (4)$$

где  $F_{\text{пож}}$  – площадь пожаров, тыс. га,  $T_{\text{лет}}$ ,  $T_{\text{сез}}$  – средняя температура за лето и весь сезон с мая по сентябрь,  $T_i$  – средняя температура за каждый  $i$  месяц,  $P_i$  – суммы осадков за каждый  $i$  месяц,  $R$  – коэффициент множественной корреляции.

Из уравнений (1)–(4) в основном следует, что площадь пожаров тем больше, чем выше температура и меньше осадков. Для остальных лесничеств и за весь период наблюдений эмпирические уравнения, связывающие площади пожаров и метеорологические факторы, получились менее эффективными с коэффициентами корреляции  $R=0,4–0,6$ . Такая низкая эффективность уравнений может быть связана с тем, что для всей площади каждого лесничества была выбрана только одна метеостанция, что явно недостаточно для обобщения осадков. Вместе с тем и такие уравнения можно применять для определения значений за каждый год, по которым затем с меньшими погрешностями рассчитываются климатические нормы за разные периоды в будущем на основе сценарных оценок осадков и температур.

Следующим рассматриваемым климатическим индикатором была температура почвы на разных глубинах (1,6 и 3,2 м) в мае и апреле, измеряемая на 5 метеостанциях Якутии (рис. 4), находящиеся в ее разных частях: Олекминск (код станции 24944, юго-запад), Охотский Перевоз (24871, восток), Чурапча (24768, центр), Верхоянск (24266, север), Оленок (24125, северо-запад). В рассматриваемых месяцах происходит оттаивание почвы, т.е. переход температуры через  $0^{\circ}\text{C}$ , что определяет динамику вечной мерзлоты. Временные ряды температур почвы были аппроксимированы тремя видами моделей: стационарная выборка и две нестационарные альтернативы; модель линейного тренда и ступенчатых изменений; найдены относительные разности между стандартными отклонениями остатков стационарной модели и двух нестационарных:

$$\Delta_{mp} = \left( \frac{\overline{\delta y} - \overline{\delta \varepsilon}}{\overline{\delta y}} \right) * 100\% \quad (5)$$

$$\Delta_{ступ} = \left( \frac{\sigma_y - \sigma_{ступ}}{\sigma_y} \right) * 100\% , \quad (6)$$

где  $\Delta_{тр}$ ,  $\Delta_{ступ}$  – относительные отличия (%) модели тренда и модели ступенчатых изменений от модели стационарной выборки;  $\sigma_y$ ,  $\sigma_\varepsilon$ ,  $\sigma_{ступ}$  – стандартные отклонения остатков соответственно моделей случайной выборки, линейного тренда и ступенчатых изменений.

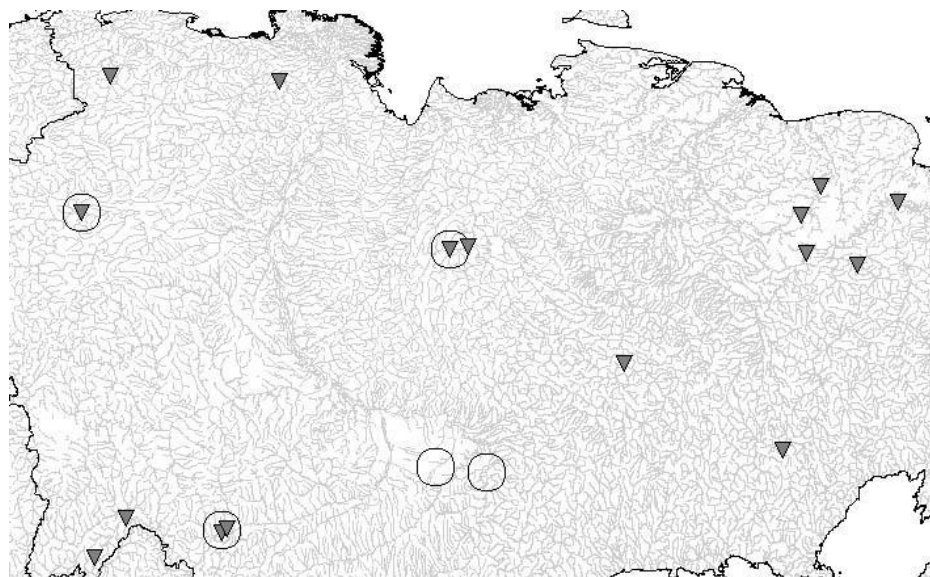


Рис. 4. Схема размещения пунктов наблюдений за температурой почвы (окружности) и расходами и уровнями воды (треугольники) на территории республики Саха (Якутия)

В табл. 2 приведены основные характеристики нестационарных моделей:  $\Delta_{тр}$ ,  $\Delta_{ступ}$  (%), расчетные значения критерия Фишера  $F_{тр}$  и  $F_{ступ}$  (отношения остаточной дисперсии стационарной модели к остаточной дисперсии нестационарной), год установленных ступенчатых изменений (год ст), год начала и окончания наблюдений (год нач. и год кон.), продолжительность временного ряда ( $n$ , лет), коэффициент корреляции модели тренда ( $R$ ). Кроме температур почвы для наиболее нестационарных случаев (метеостанции 24768 и 24944) приведены также характеристики нестационарных моделей и температур воздуха.

Таблица 2

Характеристики нестационарных моделей температур воздуха и почвы на глубинах

Код станции	$\Delta_{тр}$	$\Delta_{ступ}$	$F_{тр}$	$F_{ступ}$	Год ст	Год нач.	Год кон.	$n$	$R$
Апрель, температура воздуха									
Чурапча	18,5	17,5	1,51	1,47	1974	1961	2011	47	0,58
Олекминск	7,3	9,9	1,16	1,23	1975	1961	2013	52	0,38
Апрель, глубина 1,6 м									
Оленек	0,2	1,6	1	1,03	1980	1967	2013	43	0,07
Верхоянск	5,3	10,8	1,12	1,26	1994	1967	2005	34	-0,32
Чурапча	10,6	22,8	1,25	1,68	1976	1961	2013	49	0,45
Охотский Перевоз	1,8	9,7	1,04	1,23	1989	1961	2013	48	0,19
Олекминск	33,7	33,7	2,28	2,27	1982	1961	2013	49	0,75
Апрель, глубина 2,4 м									
Олекминск	29,1	39,3	1,99	2,71	1978	1961	1995	30	0,71
Апрель, глубина 3,6 м									
Верхоянск	0,1	2,4	1	1,05	1990	1967	2009	37	0,04
Чурапча	9	24	1,21	1,73	1976	1961	2013	50	0,41
Охотский Перевоз	1,1	6,9	1,02	1,15	1989	1961	2013	49	0,14
Олекминск	37,4	41,4	2,55	2,91	1976	1961	2009	43	0,78

Окончание табл.2

Код станции	$\Delta_{тр}$	$\Delta_{ступ}$	$F_{тр}$	$F_{ступ}$	Год ст	Год нач	Год кон.	n	R
Май, температура воздуха									
Чурапча	14,2	17,9	1,36	1,48	1971	1961	2011	50	0,51
Олекминск	4,1	4,4	1,09	1,10	1989	1961	2013	51	0,28
Чурапча									
Оленек	3,7	5,9	1,08	1,13	2002	1967	2013	39	0,27
Верхоянск	0	3,8	1	1,08	1983	1967	2013	40	-0,03
Чурапча	16,7	26,7	1,44	1,86	1976	1961	2013	51	0,55
Охотский Перевоз	0,7	3,8	1,01	1,08	1989	1961	2013	47	0,12
Олекминск	19,9	24,2	1,56	1,74	1981	1961	2013	49	0,6
Май, глубина 2,4 м									
Олекминск	32,2	42,6	2,18	3,03	1977	1961	1995	31	0,74
Май, глубина 3,2 м									
Верхоянск	3,7	10,9	1,08	1,26	1999	1967	2013	40	0,27
Чурапча	10,3	23,3	1,24	1,7	1976	1961	2013	50	0,44
Охотский Перевоз	2,6	9,6	1,05	1,22	1989	1961	2013	49	0,23
Олекминск	23,1	31,9	1,69	2,16	1978	1961	2008	44	0,64

Из результатов табл. 2 следует, что статистически значимо нестационарными с наибольшими  $\Delta_{тр}$  и  $\Delta_{ступ}$  являются ряды температуры почвы на метеостанциях Олекминск (24944) и Чурапча (24768), находящихся в центре и на юге. Наиболее эффективной в случае нестационарности является модель ступенчатых изменений, а не линейного тренда. На рис. 5 приведены временные ряды температур почвы на разных глубинах за апрель и май на метеостанции Олекминск и выделенные квазиоднородные периоды.

Из графиков, представленных на рис. 5 следует, что резкое повышение температуры почвы в среднем на  $1,0^{\circ}\text{C}$  приходится на конец 1970-х – начало 1980-х, причем чем ближе к поверхности, тем эти изменения больше. Например, в апреле на глубине 3,2 м средний рост температуры составляет  $0,6^{\circ}\text{C}$ , на глубине 2,6 м –  $1,0^{\circ}\text{C}$  и на глубине 1,6 м –  $1,7^{\circ}\text{C}$ . Хотя в эти месяцы еще и наблюдается зимняя стратификация потока тепла (из глубины к поверхности), но температуры на глубине 3,2 м уже довольно часто могут превышать нулевые отметки, что приводит к оттаиванию мерзлоты. На метеостанции Чурапча средний подъем температуры еще выше и составляет  $3^{\circ}\text{C}$  в апреле и  $1,5^{\circ}$  –  $2,0^{\circ}\text{C}$  в мае. На метеостанции Верхоянск некоторый подъем температуры с  $\Delta_{ступ}$  чуть более 10,9% не является статистически значимым. На метеостанциях Охотский Перевоз и Оленек каких-либо изменений температуры почвы не установлено.

Температуры почвы на разных глубинах связаны между собой, также как и с температурой воздуха, следующими уравнениями (для метеостанции Олекминск):

$$\text{апрель} \quad T_{1,6} = 0,310T_0 - 0,86 \quad R=0,60, \quad (7)$$

$$T_{2,4} = 0,681T_{1,6} + 0,53 \quad R=0,95, \quad (8)$$

$$T_{3,6} = 0,477T_{2,4} + 0,17 \quad R=0,89, \quad (9)$$

$$T_{3,6} = 0,298T_{1,6} + 0,31 \quad R=0,86, \quad (10)$$

$$\text{май} \quad T_{1,6} = 0,115T_0 - 2,08 \quad R=0,35, \quad (11)$$

$$T_{2,4} = 1,009T_{1,6} + 0,45 \quad R=0,97, \quad (12)$$

$$T_{3,6} = 0,786T_{2,4} + 0,39 \quad R=0,83, \quad (13)$$

$$T_{3,6} = 0,482T_{1,6} + 0,29 \quad R=0,75, \quad (14)$$

где  $T_0$ ,  $T_{1,6}$ ,  $T_{2,4}$ ,  $T_{3,6}$  – среднемесячные температуры воздуха и на глубинах 1,6 м, 2,4 м и 3,2 м, R – коэффициент корреляции уравнения.

Рассмотрев зависимости (7)–(14), можно сделать два важных вывода: температуры почвы на соседних уровнях хорошо связаны между собой; температура воздуха достаточно слабо связана с температурой почвы даже на глубине 1,6 м, в весенние месяцы. Для метеостанции Чурапча надежные уравнения получены для связи температуры на глубинах 1,6 м и 3,6 м с  $R=0,92$ – $0,93$  и намного менее надежно коррелирует приземная температура воздуха с температурой почвы на глубине 1,6 м с  $R=0,37$  и  $R=0,45$  в апреле и мае соответственно.

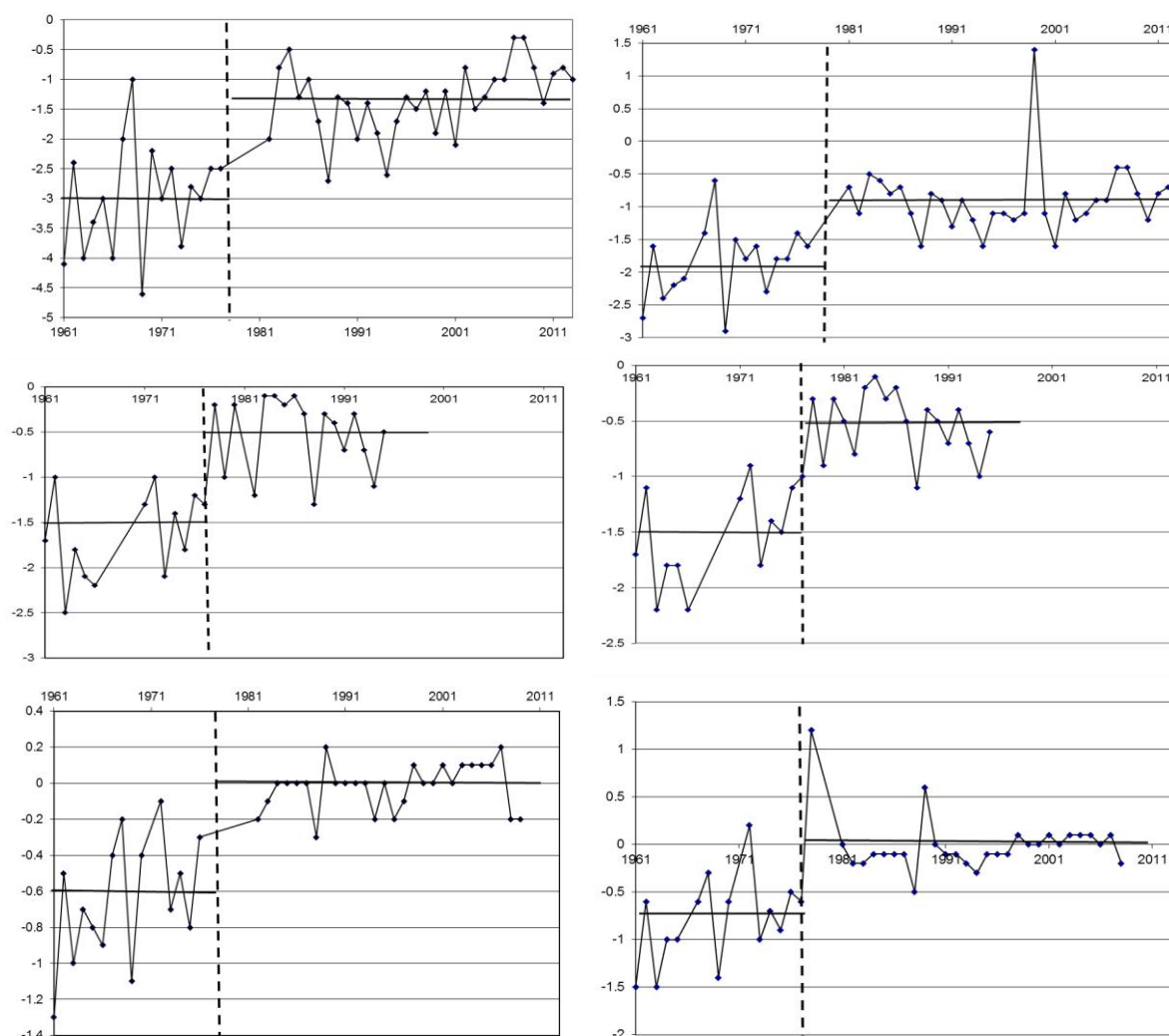


Рис. 5. Динамика температуры почвы на глубинах 1,6 м, 2,4 м и 3,2 м (сверху вниз) на метеостанции Олекминск за апрель (слева) и май (справа)

Чтобы оценить устойчивость зависимостей между температурой воздуха и почвы на глубине 1,6 м они были рассчитаны за каждый из двух квазистационарных периодов температур почвы. Для метеостанции Олекминск получено, что в первый стационарный период (1961–1977 гг.) для апреля зависимость лучше с  $R=0,74$ , а за второй (1982–2013 гг.) хуже с  $R=0,26$ , чем за весь совместный (1961–2013 гг.) с  $R=0,60$ . Для мая зависимости за два разных полупериода практически не отличались от уравнения (11) с низким коэффициентом корреляции.

Анализ моделей температур воздуха (табл. 2) свидетельствует о том, что для метеостанции Чурапча нестационарная модель является эффективной как в апреле, так и в мае, а для метеостанции Олекминск – неэффективна ни в один из этих месяцев. Вместе с тем средние значения температуры воздуха и почвы за два полупериода увеличиваются на  $1,5^{\circ}\text{C}$  в апреле и на  $0,9^{\circ}\text{C}$  в мае. Для температуры воздуха на метеостанции Олекминск характерна большая естественная изменчивость, не позволяющая надежно идентифицировать климатический рост температуры.

Уравнения, связывающие температуру воздуха и почвы, имеющие невысокие коэффициенты корреляции, также могут быть использованы для восстановления значений температур почвы в будущем по сценарным оценкам температур воздуха и для расчета норм температур почвы уже с меньшими погрешностями.

Далее рассматривались максимальные уровни и расходы воды на некоторых реках республики (рис. 4), для которых были рассчитаны различные модели и их характеристики (табл. 3).

Таблица 3

Характеристики нестационарных моделей максимальных в году уровней и расходов воды

Код		$\Delta_{тр}$	$\Delta_{ступ}$	$F_{тр}$	$F_{ступ}$	Год нач	Год кон.	n	R
Максимальные в году уровни воды									
1018	р. Колыма – п. Зырянка	0,9	2,7	1,02	1,06	1938	2014	77	-0,13
1367	р.Березовка с. Березовка	0,3	1,3	1,01	1,03	1963	2014	52	0,07
1801	р. Колыма - г. Среднеколымск	0,3	1,7	1,01	1,04	1927	2014	86	-0,08
1802	р. Колыма – с. Колымское	0	0,8	1	1,02	1965	2014	50	0,01
1805	р. Колыма – п. Черский	0,6	1,7	1,01	1,04	1960	2014	48	-0,11
3029	р.Лена- п.Крестовский	4	6,7	1,09	1,15	1950	2013	64	0,28
3030	р.Лена- г.Ленск	0,8	7,6	1,02	1,17	1962	2014	53	0,12
3035	р.Лена- г.Олёкминск	1,9	7,1	1,04	1,16	1950	2014	65	0,19
3036	Р.Лена- п.Солянка	2,8	8,6	1,06	1,2	1950	2013	63	0,23
3405	р.Оленек-с. Оленек	0,9	2,8	1,02	1,06	1936	2013	77	0,14
3414	р.Яна – г. Верхоянск	0,1	3,6	1	1,08	1926	2013	82	0,04
3416	р.Яна – п. Батагай	0	4,8	1	1,1	1954	2013	60	-0,01
3491	р.Индибирка – п. Усть-Мома	21,7	19,4	1,63	1,54	1965	2014	50	0,62
3801	р.Анабар - с. Саскылах	0,2	0,9	1	1,02	1936	2013	75	-0,06
3814	р.Оленек – с. Таймылыр	1,4	4,1	1,03	1,09	1950	2013	57	0,17
3816	р.Оленек – с. Усть-Оленек	2,4	4,3	1,05	1,09	1950	2013	62	0,22
3864	р.Яна – п. Нижнеянск	3,2	9,5	1,07	1,22	1970	2013	41	-0,25
3881	р.Алазея – с. Аргахта	2,6	7,6	1,05	1,17	1962	2013	50	0,22
3882	р.Алазея – с. Андриюшкино	0,9	3,8	1,02	1,08	1962	2013	38	-0,14
Максимальные в году расходы воды									
1367	р.Березовка с. Березовка	1,2	1,8	1,02	1,04	1965	1999	33	0,15
1801	р. Колыма - г. Среднеколымск	0,4	2,4	1,01	1,05	1927	2014	75	-0,09
3029	р.Лена- п.Крестовский	1	2,9	1,02	1,06	1950	2014	65	0,14
3036	Р.Лена- п.Солянка	3,9	6	1,08	1,13	1950	2014	65	0,28
3405	р.Оленек-с. Оленек	0,4	2,5	1,01	1,05	1936	2013	75	0,09
3414	р.Яна – г. Верхоянск	0,4	3,5	1,01	1,07	1936	2013	78	0,08
3801	р.Анабар-с. Саскылах	1,1	2,2	1,02	1,05	1954	2013	60	-0,15
3881	р.Алазея – с. Аргахта	6,1	8,8	1,13	1,2	1962	2013	50	0,34

Из анализа результатов табл. 3 следует, что только в одном случае (р. Индибирка – п. Усть-Мома) нестационарная модель является эффективной и статистически значимой. Близкие к нестационарным моделям по  $\Delta$  около 10% и статистически значимым R можно считать ряды максимальных уровней и расходов воды на р. Алазея – с. Аргахта, максимальных уровней на р. Яна – п. Нижнеянск (падение), р. Оленек – с. Усть-Оленек, максимальных расходов воды на р. Лена – п. Солянка. Временные графики всех этих рядов приведены на рис.6.

Из графиков, представленных на рис. 6, следует, что тренд роста максимальных уровней воды наиболее выражен на р.Индибирка – п.Усть-Мома ( $\Delta_{тр} = 21,7\% > \Delta_{ступ} = 19,4\%$ ), а также на р.Алазея – с.Аргахта как для уровней, так и расходов воды. На р.Лена – п.Солянка колебания максимальных расходов воды имеют ступенчатый рост в 1990 г., а для р.Оленек – с.Усть-Оленек тренд подъема сменился в самые последние годы спадом, а на р.Яна – п.Нижнеянск произошло ступенчатое уменьшение уровня воды в 2000 г.

Несмотря на то, что температура мая является одной из самых нестационарных со средними по всем метеостанциям республики  $\Delta_{тр} = 9,1\%$ ,  $\Delta_{ступ} = 9,2\%$  и  $R = 0,41$  и зона нестационарности охватывает почти половину территории [8], проявления этих температурных изменений в максимальных уровнях и расходах воды пока практически отсутствуют.



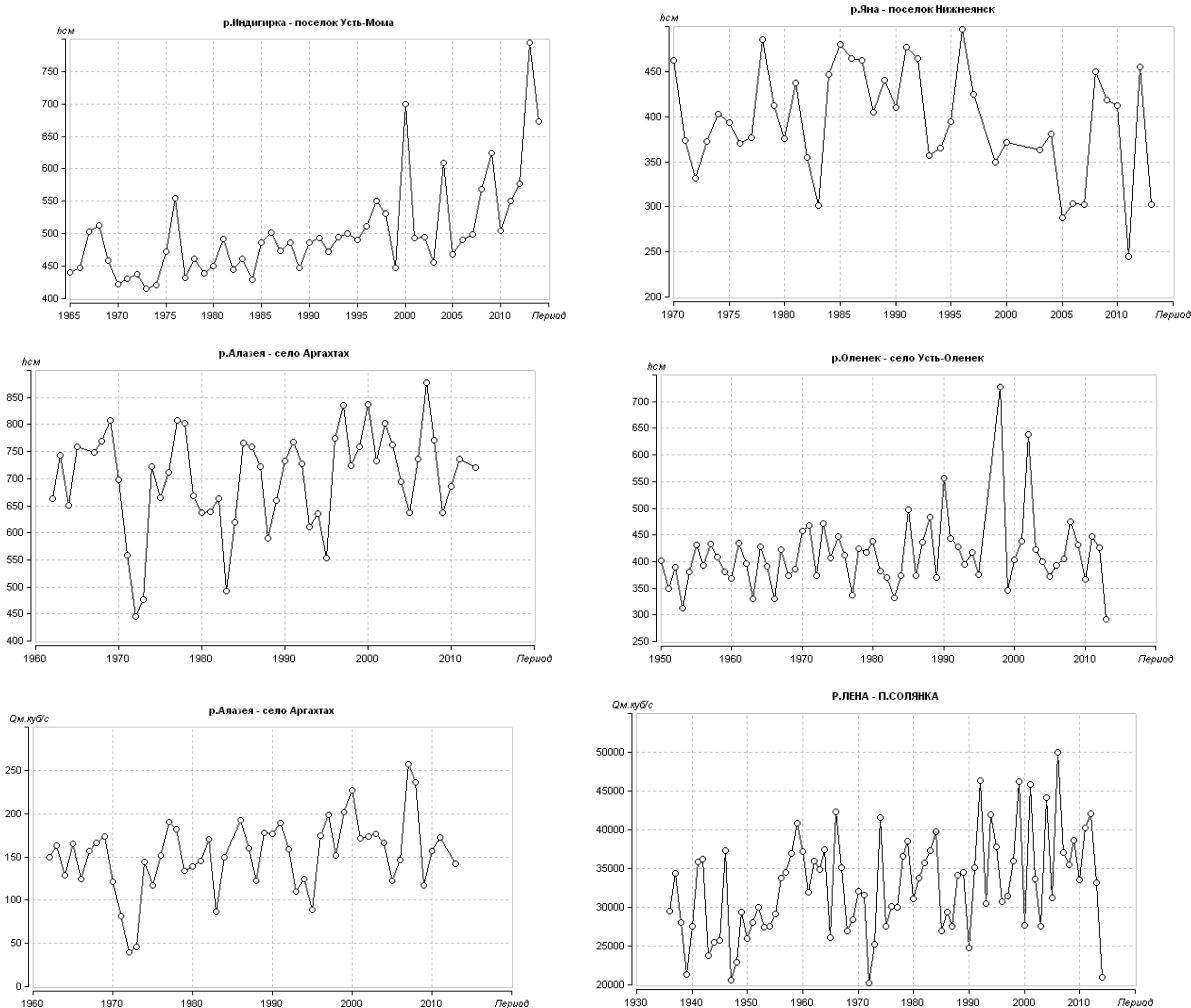


Рис. 6. Временные ряды нестационарных и близких к нестационарным рядов максимальных уровней и расходов воды

В целом по результатам исследования климатических индикаторов можно сделать следующие выводы:

- дисперсия площадей пожаров в центральных и юго-восточных лесничествах Якутии возросла с конца XX, начала XXI вв., что отразилось и на росте средних площадей пожаров;
- полученные эмпирические зависимости, которые можно использовать для сценарных оценок влияния будущих климатических изменений, свидетельствуют, что рост площадей пожаров прямо пропорционален росту температур и обратно пропорционален уменьшению осадков в месяцы теплого сезона года;
- температуры почвы выросли ступенчато в среднем на  $1,0^{\circ}\text{C}$  в конце 1970-х–начале 1980-х гг., главным образом, в центре и на юге республики, причем чем ближе к поверхности, тем эти изменения больше, а на глубине 3,2 м температура стала превышать нулевые отметки, что является индикатором оттаивания мерзлоты;
- установлены эмпирические зависимости, связывающие температуры почвы на разных глубинах и с температурой воздуха, что позволяет оценить отклик температур почвы на сценарные оценки температур воздуха;
- рост в гидрологическом отклике климата для рядов максимальных расходов и уровней воды практически пока не наблюдается за исключением отдельных случаев, что, однако, может быть связано и с локальными причинами, характерными для изменения уровня воды.

#### Библиографический список

1. Абдусаматов Х.И. Глубокий минимум мощности солнечного излучения приведет к Малому ледниковому периоду. СПб.: Нестор-История, 2013. 246 с.

2. Васильев М.С., Каримов Р.Р. Исследование возможных причин возникновения лесных пожаров в Якутии по данным дистанционных наблюдений // В мире научных открытий. 2014. №4(52). С. 161–171.
3. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. М., 2014. 61 с.
4. Дымников В.П., Лыкосов В.Н., Володин Е.М. Моделирование климата и его изменений. М.: Наука, 2006. 173 с.
5. Изменение климата. 2013 г. Физическая научная основа Резюме для политиков Доклад Рабочей группы I МГЭИК Техническое резюме / под ред. Томас Ф. Стоккер, Дахэ Цинь, Джиан-Каспер Платтнер и др.. М., 2013. 222 с.
6. Изменение климата. 2014 г. Последствия, адаптация и уязвимость. Ч. А: Глобальные и секторальные аспекты. Ч. В: Региональные аспекты. Вклад Рабочей группы II в подготовку Пятого оценочного доклада МГЭИК (англ.). М., 2014. 1785 с.
7. Изменение климата. 2014 г. Смягчение воздействий на изменение климата. Вклад Рабочей группы III в подготовку Пятого оценочного доклада МГЭИК (англ.). М., 2014. 1435 с.
8. Калинин Н.А. Мониторинг, моделирование и прогноз состояния атмосферы в умеренных широтах. Пермь, 2015. 308 с.
9. Кириллина К.С., Лобанов В.А. Оценка современных климатических изменений температуры воздуха на территории республики Саха (Якутия) // Учен. зап. РГГМУ. 2015. №38. С. 137–151.
10. Кириллина К.С., Лобанов В.А. Оценка современной изменчивости атмосферных осадков на территории Республики Саха (Якутия) // Учен. зап. РГГМУ. 2015. №39. С. 74–86.
11. Кириллина К. С., Лобанов В.А. Оценка будущего климата республика Саха (Якутия) // Уч. зап. РГГМУ. 2015. №40. С. 113–126.
12. Клименко В.В. Климат: непрочитанная глава истории. М.: Издательский дом МЭИ. 2009. 408с.
13. Лобанов В.А., Шадурский А.Е. Применение эмпирико-статистических методов для моделирования и анализа климатических изменений // Учен. зап. РГГМУ. 2010. №14. С. 73–88.
14. Оценка макроэкономических последствий изменений климата на территории Российской Федерации на период до 2030 г. и дальнейшую перспективу / В.М. Катцов, Н.В. Кобышева, В.П. Мелешко и др. М.: Д'АРТ, Главная геофизическая обсерватория, 2011. 252 с.
15. Climate Change. 2013. The Physical Science Basis. Working Group I. Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Edited by Thomas F. Stocker, Dahe Qin, Gian-Kasper Plattner, Melinda M.B. Tignor, Simon K. Allen, and etc. Cambridge University Press. Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, and etc. 2013. 1552 p.
16. IPCC Technical Guidelines for Assessing Climate Change Impacts and Adaptations (ТехническиируководящиепринципыМГЭИКпооценкепоследствийизмененияклиматаиаадаптации) // IPCC. 1994. P. 59.

#### References

1. Abdusamatov, H.I. (2013), *Glubokij minimum moschnosti solnechnogo izluchenija privediot k Malomu lednikovomu periodu* [A deep minimum of solar radiation power will lead to the Little Ice Age], Nestor-History, St. Petersburg, Russia.
2. Vasilyev, M.S. and Karimov, R.R. (2014), “Investigation of possible causes of forest fires in Yakutia according to remote observations” *In the world of scientific discoveries*, no. 4 (52), pp. 161–171.
3. *Vtoroy otsenochnij doclad Rosgidrometa ob izmenenijakh klimata I ikh posledstvij na territorii Rossii. Obschee rezume* [The second assessment report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. General summary], (2014), Moscow, Russia.
4. Dymnikov, V.P., Lykosov, V.N. and Volodin, E.M. (2006), *Modelirovanie klimata i ego izmenenij*. [Modeling of climate and its changes], Science, Moscow, Russia.
5. Climate change (2013), The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Report of Working Group I of the IPCC. Technical Summary, in Thomas F. Stockker, Dahe Qin, Gian-Casper Plattner and othersed.
6. Climate change (2014), Consequences, adaptation and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Part B: Regional aspects. Contribution of Working Group II to the preparation of the IPCC Fifth Assessment Report (English).
7. Climate change (2014), Mitigation of impacts on climate change. Contribution of Working Group III to the preparation of the IPCC Fifth Assessment Report (English).

8. Kalinin, N.A. (2015), *Monitoring, modelirovanie i prognoz sostojanija atmosfery v umerennikh shirotakh* [Monitoring, modeling and prediction of atmospheric conditions in temperate latitudes], Perm State Nat. Res. Univ., Perm, Russia.

9. Kirillina, K.S. and Lobanov, V.A. (2015), "Assessment of modern climatic changes in air temperature on the territory of the Republic of Sakha (Yakutia)", *Scientific notes of RSHU (Russian State Hydrometeorological University)*, no. 38, pp.137–152.

10. Kirillina, K.S. and Lobanov, V.A. (2015), "Assessment of the modern variability of atmospheric precipitation in the Republic of Sakha (Yakutia)", *Scientific notes of RSHU (Russian State Hydrometeorological University)*, no. 39, pp.74–86.

11. Kirillina, K.S. and Lobanov, V.A. (2015), "Assessment of the future climate of the Republic of Sakha (Yakutia)", *Scientific notes of RSHU (Russian State Hydrometeorological University)*, no. 40, pp.113–126 (in Russian).

12. Klimenko, V.V. (2009), *Klimat: neprochitannaja glava istorii* [Climate: unread chapter of history], Publishing house MEI, Moscow, Russia.

13. Lobanov, V.A. and Shadursky, A.Ye. (2010), "Application of empirical-statistical methods for modeling and analysis of climate change", *Scientific notes of RSHU*, no 14, pp.73–88.

14. Kattsov, V.M., Kobysheva, N.V. and Meleshko, V.P. and others. (2011), *Otsenka makroekonomicheskikh posledstvij izmenenij klimata na territorii Rossijskoy Federatsii na period do 2030 g. i dalnejshuju perspektivu*. [Assessment of the macroeconomic consequences of climate change in the territory of the Russian Federation is not a period until 2030 and a further perspective], D'ART, Main Geophysical Observatory, Moscow, Russia.

15. Climate Change (2013), *The Physical Science Basis. Working Group I. Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, in Thomas F. Stocker, Dahe Qin, Gian-Kasper Plattner, Melinda M.B. Tignor, Simon K. Allen, and etc. ed., Cambridge University Press, Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, and etc.

16. IPCC Technical Guidelines for Assessing Climate Change Impacts and Adaptations, *IPCC*. 1994.

Поступила в редакцию: 11.05.2017

#### Сведения об авторах

#### About the authors

##### Лобанов Владимир Алексеевич

доктор технических наук, профессор кафедры метеорологии, климатологии и охраны атмосферы, Российский государственный гидрометеорологический университет; Россия, 195196, г. Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., д.98;

##### Vladimir A. Lobanov

Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Meteorology, Climatology and Air Protection, Russian State Hydrometeorological University; 98, Malookhtinsky pr., St. Petersburg, 195196, Russia

e-mail: lobanov@EL6309.spb.edu

##### Кириллина Кюннэй Святославовна

аспирант кафедры метеорологии, климатологии и охраны атмосферы, Российский государственный гидрометеорологический университет; 195196, Россия, г. Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., д. 98;

##### Kyunney S. Kirillina

Postgraduate Student, Department of Meteorology, Climatology and Air Protection, Russian State Hydrometeorological University; 98, Malookhtinsky pr., St. Petersburg, 195196, Russia

e-mail: kirillina\_kunney@mail.ru

#### Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Лобанов В.А., Кириллина К.С. Отклик климатических индикаторов на современное потепление климата в Республике Саха (Якутия) // Географический вестник = Geographical bulletin. 2017. №4(43). С.112–122. doi 10.17072/2079-7877-2017-4-112-122

#### Please cite this article in English as:

Lobanov V.A., Kirillina K.S. Response of climate indicators to the present climate warming in the Republic of Sakha (Yakutia) // Geographical bulletin. 2017. №4(43). P. 112–122. doi 10.17072/2079-7877-2017-4-112-122